

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«На правах рукопису»
УДК 66.063.61

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри, д-р. тех. наук, проф.
Я.М. Корнієнко
"___" _____ 2019 р.

Магістерська дисертація

за напрямом підготовки: 133 Галузеве машинобудування,
спеціалізація “Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування
обладнання целюлозно-паперового виробництва”

на тему: **Процес обробки волокнистих суспензій у роторно-пульсаційному
апараті**

Виконав: студент VI курсу групи ЛБ-71м
Онищенко Дмитро Миколайович

(підпис)

Науковий керівник: канд. техн. наук, доцент Семінський О. О.

(підпис)

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях
канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.

(підпис)

Консультант з розробки стартап проекту

канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.

(підпис)

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь , прізвище і ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь , прізвище і ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень праць інших
авторів без відповідних посилань

Студент _____ Д.М. Онищенко

Київ—2019

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація “Інжиніринг, комп’ютерне моделювання та проектування обладнання целюлозно-паперового виробництва”

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, д-р техн. наук, проф.

_____ Я.М. Корнієнко

“ _____ ” _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Онищенко Дмитру Миколайовичу

1. Тема дисертації: Процес обробки волокнистих суспензій у роторно-пульсаційному апараті.

Науковий керівник Семінський Олександр Олегович, кандидат технічних наук, доцент.

затверджена наказом по університету від «11» березня 2019 р. № 1081-с.

2. Термін здачі студентом оформленої дисертації: травень 2019 р.

3. Об’єкт дослідження: Процес диспергування макулатурної маси у роторно-пульсаційному апараті.

4. Предмет дослідження: кінетика процесу диспергування макулатурної маси у роторно-пульсаційному апараті.

5. Перелік питань, які необхідно розробити:

- проаналізувати існуючі відомості про диспергування волокнистих суспензій;
- розробка фізичної і математичної моделі;
- обґрунтувати методи дослідження;
- розробити експериментальний стенд для проведення досліджень;
- розробити методику експериментальних досліджень;
- перевірити адекватність математичної моделі;

- узагальнити результати досліджень;
- розробити методику та алгоритм розрахунку промислового апарата;
- розробити проект роторно-пульсаційного апарату;
- розробити стартап проект;
- підготувати публікації наукових статей, тез доповідей та патентів.

6. Перелік ілюстрованого матеріалу представлено:

презентація магістерської дисертації.

7. Перелік публікацій опубліковано 2 статті у фахових виданнях, 1 патент на корисну модель, участь у 4 конференціях з опублікуванням 4 тез-доповідей до міжнародних науково-практичних конференцій студентів, аспірантів і молодих вчених.

8. Консультанти

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.		
Розробка стартап проекту	канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.		

9. Дата видачі завдання: 09 вересня 2016 р.

Керівник роботи

(підпис)

О. О. Семінський

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Д. М. Онищенко

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Строк виконання етапів дисертації	Примітка
1	2	3	4
1	Аналіз літературних і патентних джерел по дослідженню процесу пульсаційного диспергування волокнистих суспензій. Формулювання задач теоретичних та експериментальних досліджень.	01.09.2016 – 27.12.2016	
2	Розробка фізичної моделі диспергування волокнистих суспензій. Розробка математичної моделі процесу диспергування волокнистих суспензій.	05.01.2017 – 30.05.2017	
3	Формулювання процесу проведення дослідів. Удосконалення методики проведення експериментів.	13.09.2017 – 30.01.2018	
4	Проведення експериментальних досліджень	03.10.2017 – 02.03.2018	
5	Обробка та узагальнення результатів дослідження.	02.03.2018 – 14.03.2018	
6	Висновки й рекомендації щодо визначення .	16.03.2018 – 25.03.2018	
7	Підготовка матеріалів до публікації за результатами досліджень.	26.03.2018 – 15.04.2018	

1	2	3	4
8	Попередній захист	26.04.2018 – 26.04.2018	
9	Оформлення атестаційної роботи магістра та її підготовка до захисту.	27.04.2018 – 15.05.2018	

Керівник роботи

(підпис) О. О. Семінський

Студент

(підпис) Д. М. Онищенко

РЕФЕРАТ

УДК 66.063.61

Магістерська дисертація на тему: «Процес обробки волокнистих суспензій у роторно-пульсаційному апараті» / НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорсько»; Керівник О.О. Семінський. – К., 2019. – 150 с., 33 іл. – Виконавець Д.М. Онищенко. – Бібліогр.: 41 п.

Робота складається із вступу та п'яти розділів. Загальний обсяг роботи: 150 аркушів основного тексту, 33 ілюстрацій, 31 таблиць, перелік посилань 41 найменувань та 5 додатків.

Об'єкт дослідження – процес диспергування макулатурної маси у роторно-пульсаційному апараті.

Предмет дослідження – кінетика процесу диспергування макулатурної маси у роторно-пульсаційному апараті.

Мета дослідження – встановлення закономірностей диспергування макулатурної маси у роторно-пульсаційному апараті.

Методи досліджень: теоретичний аналіз, математичне моделювання, експериментальне дослідження процесу диспергування в одноступінчастому роторно-пульсаційному апараті, встановлення функціональних залежностей, достовірності та адекватності розробленої математичної моделі.

Результати роботи та їх новизна:

- Сформульовано фізичну модель диспергування волокнистих суспензій у РПА.
- Розроблено математичну модель кінетики пульсаційного диспергування волокнистих суспензій.
- Експериментально перевірено адекватність фізичної та математичної моделі.
- Складено алгоритм розрахунку РПА, з урахуванням особливостей процесу диспергування волокнистих суспензій.

– Запропоновано варіант конструкції РПА, що дозволяє підвищити ефективність установки для проведення хіміко-технологічних процесів у рідинах, використавши прості, з точки зору виготовлення та встановлення, конструкційні елементи без зміни габаритних розмірів установки та ускладнення її обслуговування.

– Розроблено технологічну схему з застосуванням РПА при виробництві макулатурної маси.

– Розроблено стартап проект, в якому проведеного аналіз перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту.

Основний зміст дисертації викладено в 7-ми опублікованих роботах, у тому числі у двох статтях у наукових фахових виданнях України, чотирьох публікаціях в матеріалах міжнародних конференцій і наукових семінарів та в патенті України.

ДИСПЕРГУВАННЯ, КІНЕТИКА, МАКУЛАТУРНА МАСА,
ВОЛОКНИСТІ СУСПЕНЗІЇ, РОТОРНО-ПУЛЬСАЦІЙНИЙ АПАРАТ

РЕФЕРАТ

УДК 66.063.61

Магистерская диссертация на тему: «Процесс обработки волокнистых суспензий в роторно-пульсационном аппарате» / НТУУ «КПИ им. Игоря Сикорского»; Руководитель А.А. Семинский. - М., 2019. - 150 с., 33 ил. - Исполнитель Д.М. Онищенко. - Библиогр.: 41 п.

Работа состоит из введения и пяти разделов. Общий объем работы 150 листов основного текста, 33 иллюстраций, 31 таблиц, список литературы 41 наименований и 5 приложений.

Объект исследования - процесс диспергирования макулатурной массы в роторно-пульсационном аппарате.

Предмет исследования - кинетика процесса диспергирования макулатурной массы в роторно-пульсационном аппарате.

Цель исследования - установление закономерностей диспергирования макулатурной массы в роторно-пульсационном аппарате.

Методы исследований: теоретический анализ, математическое моделирование, экспериментальное исследование процесса диспергирования в одноступенчатом роторно-пульсационном аппарате, установление функциональных зависимостей, достоверности и адекватности разработанной математической модели.

Результаты работы и их новизна:

- Сформулированы физическую модель диспергирования волокнистых суспензий в РПА.
- Разработана математическая модель кинетики пульсационного диспергирования волокнистых суспензий.
- Экспериментально проверено адекватность физической и математической модели.
- Составлен алгоритм расчета РПА, с учетом особенностей процесса диспергирования волокнистых суспензий.

– Предложен вариант конструкции РПА, что позволяет повысить эффективность установки для проведения химико-технологических процессов в жидкостях, используя простые, с точки зрения изготовления и установки, конструкционные элементы без изменения габаритных размеров установки и усложнения ее обслуживания.

– Разработана технологическая схема с применением РПА при производстве макулатурной массы.

– Разработан стартап проект, в котором проведен анализ перспективы внедрения учитывая потенциальные группы клиентов, барьеры вхождения, состояние конкуренции, конкурентоспособность проекта.

Основное содержание диссертации изложено в 7-ми опубликованных работах, в том числе в двух статьях в научных изданиях Украины, четырех публикациях в материалах международных конференций и научных семинаров и в патенте Украины.

ДИСПЕРГИРОВАНИЕ, КИНЕТИКА, МАКУЛАТУРНАЯ МАССА, ВОЛОКНИСТАЯ СУСПЕНЗИЯ, РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННЫЙ АПАРАТ

ABSTRACT

UDC 66.063.61

Master's dissertation on the topic: "Processing of fibrous suspensions in rotor-pulsated apparatus " / NTUU "KPI name of Igor Sikorskiy "; Head O.O. Seminsky - K., 2018. - 150 p., 33 sl. - Performer D.M. Onyshchenko - The bibliographer: 41 p.

The work consists of an introduction and five sections. Total volume of work: 150 pages of the main text, 33 illustrations, 31 tables, list of references of 41 titles and 5 applications.

The object of the study is the process of the waste paper dispersion in a rotary-pulsating apparatus.

The subject of the study is the kinetics of the waste paper dispersion in a rotary-pulsating apparatus.

The purpose of the study is to determine the regularities of the preparation of the waste paper dispersion in rotary-pulsating apparatus.

Methods of research: theoretical analysis, mathematical modeling, experimental study of the dispersion process in a one-stage rotary-pulsating apparatus, the establishment of functional dependencies, and the reliability and adequacy of the developed mathematical model.

Results of work and their novelty:

- Physical model of dispersion of fibrous suspensions in RPA was formulated.
- A mathematical model of the kinetics of pulsed dispersion fibrous suspensions has been developed.
- The adequacy of the physical and mathematical model has been experimentally tested.
- An algorithm for calculation of RPA, taking into account the features of the process of dispersing fibrous slurries, has been prepared.
- A variant of the RPA design is proposed, which makes it possible to increase the efficiency of the installation for carrying out chemical and technological processes in liquids, using structural elements simple in terms of fabrication and installation,

without changing the overall dimensions of the installation and complicating its maintenance.

- The technological scheme that includes RPA in the production of waste paper has been developed.

- A startup project has been developed, in which the analysis of the implementation perspective takes into account the potential client groups, entry barriers, the state of competition, the competitiveness of the project.

The main content of the dissertation is presented in 7 published works, including two articles in scientific professional editions of Ukraine, four publications in materials of international conferences and scientific seminars and in the patent of Ukraine.

DISPERSION, KINETICS, MAKULATURAL MASS, FLEXIBLE SUSPENSION, ROTOR-PULSATING APPARATUS

Зміст

Вступ.....	14
1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ	18
1.1 Процес обробки волокнистих суспензій	18
1.2 Загальний підхід до енергетичного розрахунку РПА	19
1.3 Аналіз конструкцій для пульсаційної обробки волокнистих суспензій ...	22
1.4 Мета і завдання досліджень	33
1.5 Висновки по розділу	34
2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПУЛЬСАЦІЙНОГО ДИСПЕРГУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ СУСПЕНЗІЙ.....	35
2.1 Фізична модель процесу	35
2.2 Математична модель процесу.....	37
2.3 Висновки по розділу	40
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПУЛЬСАЦІЙНОГО ДИСПЕРГУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ СУСПЕНЗІЙ	42
3.1 Опис експериментальної установки.....	42
3.2 Методика проведення експериментальних досліджень.....	43
3.3 Методика аналізу експериментальних досліджень	44
3.4 Результати та аналіз експериментальних досліджень.....	45
3.5 Апробація результатів математичного опису процесу обробки волокнистих суспензій в РПА.....	48
3.6 Висновки до розділу	53
4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ	54
4.1 Опис технологічної схеми підготовки макулатурної маси.....	54
4.2 Розробка конструкції РПА	56
4.3 Технічне рішення нової конструкції	57
4.4 Алгоритм розрахунку роторно-пульсаційного апарату	59
4.5 Висновки до розділу	59
Висновки	60
Выводы	62
Conclusions	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	Ошибка! Закладка не определена.

Вступ

Актуальність теми. На території України розташовано значна кількість целюлозно-паперових комбінатів, на яких використовують застаріле обладнання. Виробництво конкурентоздатної високоякісної продукції вимагає оновлення парку обладнання заміною існуючого обладнання більш ефективним. Одним з типів такого обладнання є роторно-пульсаційні апарати (РПА). Застосування РПА на етапі підготовки паперової маси для диспергування волокнистих суспензій, дозволить значно зменшити енерговитрати та підвищити якість продукції. РПА мають просту та надійну конструкцію, та дозволяють проводити ефективну обробку багатокомпонентних рідини завдяки впливу комплексу гідродинамічних факторів [1].

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана відповідно до плану науково-дослідної роботи кафедри машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв і відповідає напрямку наукових досліджень Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського”.

Об'єктом дослідження є процес обробки волокнистої маси у РПА.

Предметом дослідження є кінетичні характеристики процесу обробки волокнистої маси у РПА.

Мета і завдання дослідження.

Встановити закономірності режиму диспергування та основні технологічні параметри макулатурної маси у роторно-пульсаційному апараті, які необхідні для розробки методики розрахунку і конструкції пульсаційних апаратів та зменшення енерговитрат.

Завдання дослідження:

- обґрунтувати фізичну модель обробки волокнистих суспензій у РПА;
- скласти та розв'язати математичну модель кінетики обробки волокнистих суспензій;

- сформулювати вимоги до конструкції РПА для проведення процесу диспергування макулатурної маси;
- обґрунтувати методику експериментальних досліджень та провести модернізацію дослідної установки;
- виконати експериментальну перевірку положень фізичної моделі та перевірити можливість використання запропонованого математичного опису для визначення параметрів процесу;
- скласти алгоритм розрахунку та обґрунтувати конструкцію промислового апарата.

Наукова новизна одержаних результатів.

У дисертації одержано такі наукові результати:

- Сформульовано фізичну модель диспергування волокнистих суспензій у РПА.
- Розроблено математичну модель кінетики пульсаційного диспергування волокнистих суспензій.
- Експериментально перевірено адекватність фізичної та математичної моделі.

Практичне значення отриманих результатів.

- Сформульовані вимоги до конструкції РПА для проведення процесу диспергування макулатурної маси.
- Складено алгоритм розрахунку промислового РПА.
- Проведена модернізація дослідної установки

Обґрунтованість і достовірність отриманих результатів:

- Положення та висновки дисертаційної роботи базуються на фундаментальних фізичних законах, достовірність яких перевірено експериментально.
- Мінімальна похибка проведених розрахунків забезпечується шляхом використання сучасної обчислювальної техніки та програмного забезпечення і підтверджується відповідністю результатам експериментальних досліджень.
- Обґрунтованість технологічних рішень, прийнятих на основі отриманих в роботі результатів, підтверджена експериментальними випробуваннями.

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок полягає у постановці мети і задач дослідження, формулюванні фізичних і математичних моделей, проведенні експериментальних досліджень, проведенні огляду існуючих конструкцій РПА і виявленні їх недоліків, вдосконаленні методики розрахунку РПА, розробці технологічного рішення щодо вдосконалення системи виробництва макулатурної маси целюлозно-паперових підприємств з використанням РПА. Дослідження проведене за рекомендаціями та під керівництвом к.т.н., доцента О.О. Семінського.

Публікації.

Матеріали магістерської дисертації пройшли публічну апробацію шляхом публікації двох наукових статей і чотирьох тез доповідей на наукових і науково-практичних конференціях, одержання одного патенту України на корисну модель.

Статті у наукових журналах:

Дослідження особливостей використання роторно-пульсаційних апаратів у промислових лініях/ к.т.н., доцент Семінський О.О., магістрант Онищенко Д.М. // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» №4 – 2019.

Експериментальне дослідження кінетики вкорочення волокон при обробці водо-волокнистих суспензій в роторно-пульсаційному апараті/ к.т.н., доцент Семінський О.О., магістрант Онищенко Д.М. // Міжнародний науковий журнал «Інтернаука»

Патенти на корисні моделі та винаходи:

Патент України на корисну модель № u2017 08235 «Установка для проведення хіміко-технологічних процесів у рідинах» від 09.08.2017

Тези і матеріали наукових конференцій:

Онищенко Д.М. / Перемішування у целюлозно – паперовій промисловості. Онищенко Д.М., Семінський О.О. XI Міжнародна науково – практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», 06-07 грудня 2016 р. м. Київ, Україна.

Онищенко Д.М. / Методи математичного моделювання процесів у роторно-пульсаційному апараті. Онищенко Д.М., Семінський О.О. XII Міжнародна науково – практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», 26-27 грудня 2017 р. м. Київ, Україна.

Онищенко Д.М. / Застосування роторно пульсаційного апарату у лінії виробництва макулатурної маси для гофрокартону. Онищенко Д.М., Семінський О.О. XIII Міжнародна науково – практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», 26-27 грудня 2017 р. м. Київ, Україна.

Онищенко Д.М. / Кінетика диспергування волокнистої маси в одноступінчастому роторно-пульсаційному апараті. Онищенко Д.М., Семінський О.О. XIV Міжнародна науково – практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання», 2018 р. м. Київ, Україна.

1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Процес обробки волокнистих суспензій

Процес обробки волокнистих суспензій широко застосовується у целюлозно-паперовій промисловості, та має великий вплив на етапі підготовки макулатурної маси. Одним з важливих процесів при підготовці маси є розпуск волокон, від якого залежить подальша якість готової продукції [2].

На більшості целюлозно-паперових підприємствах для розволокнення застосовують застаріле обладнання, яке затрачає багато енергії та має певні недоліки. Одним з типів такого обладнання є гідророзбивач, недоліком якого є те, що після обробки в масі залишається велика кількість пучків волокон, які потім спричиняють неоднорітність шару паперової маси на сітці папероробної машини та неякісну кінцеву продукцію. Ще одним таким обладнанням є дискові млини, використання яких може призводити до переукорочення волокон, результатом якого буде гірша якість готового паперу, адже довжина волокон безпосередньо впливає на здатність утворення зв'язків при відливі, які забезпечують суттєвий внесок у паперотворні властивості суспензій [3]. Вирішення цієї проблеми можна досягти шляхом оновлення парку обладнання.

Все частіше у ролі апаратів для обробки волокнистих суспензій виступають роторно-пульсаційні апарати (РПА) [4]. РПА зарекомендували себе як високоефективне обладнання для розволокнення. Завдяки комплексному багатofакторному впливу на волокна, при обробці малоconцентрованих (зазвичай не більше 5 % волокна) суспензій, РПА дозволяють одночасно здійснити розпускання, фібрилювання, гідратацію і вирівнювання довжини волокон [5]. Тому дослідження процесів обробки волокнистих суспензій в РПА є актуальним.

1.2 Загальний підхід до енергетичного розрахунку РПА

У [11] запропоновано формули для визначення потужності РПА з довільною кількістю пульсаційних ступенів, у яких робочі органи оснащені прямокутними прорізами. Потужність для ступені РПА розраховується за формулою:

$$N_{cm} = 0,8 \text{Re}^{-0,3} \left(\frac{\delta}{D_{R2}} \right)^{0,2} \left(\frac{S_1 + S_2}{D_{R2}} \right)^{0,1} \left(\frac{a_1 z_1 a_2 z_2}{D_{R2}^2} \right)^{0,35} \left(1 + 10Q \frac{a_1 z_1 + a_2 z_2}{w b a_1 z_1 a_2 z_2} \right) \rho F_c w^3, \quad (1.3.1)$$

де $\text{Re} = \frac{\rho n D_{R2}^2}{\mu}$ – відцентровий критерій Рейнольдса; n – частота обертання ротора, с^{-1} ; a_1, a_2 – ширини прорізів статора та ротора, м; z_1, z_2 – кількості прорізів ротора і статора, шт.; S_1, S_2 – радіальні товщини циліндрів ротора і статора, м; D_{R1} – діаметр ротора менший, м; D_{R2} – діаметр ротора більший, м; D_{S1} – діаметр статора менший, м; D_{S2} – діаметр статора більший, м; Q – об’ємні витрати, $\text{м}^3/\text{с}$; b – висота зубців, м; μ – динамічний коефіцієнт в’язкості, $\text{Па}\cdot\text{с}$; w – швидкість обертання валу, $\text{м}/\text{с}$; F_c – площа бічної поверхні циліндра, м^2 ; ρ – густина рідини, $\text{кг}/\text{м}^3$; δ – зазор між ротором і статором, м.

У [4] для визначення потужності, що споживає ступінь РПА і запропоновано формули

$$N_{cm} = K_N \rho n^3 b D_{R2}^4, \quad (1.3.2)$$

де $K_N = 10,69 \text{Re}^{-0,21} \left(\frac{\delta}{D_{R2}} \right)^{0,2} \left(\frac{a_1 z_1}{D_{R2}} \right)^{0,7} \left(\frac{b}{D_{R2}} \right)^{-1,3}$ – критерій потужності;

$\text{Re} = \frac{\rho \pi n D_{R2}^2}{2\mu}$ – відцентровий критерій Рейнольдса; a_1 – ширина прорізів ротора, м; z_1 – кількості прорізів ротора, шт.; n – частота обертання ротора, с^{-1} ; D_{R2} – більший діаметр ротора, м; ρ – густина середовища, що піддається

обробці, кг/м^3 ; μ – коефіцієнт в'язкості середовища, що піддається обробці, $\text{Па}\cdot\text{с}$; b – висота зубців, м ; δ – ширина зазору, м .

У [12] для визначення потужності ступені РПА з довільною кількістю пульсаційних ступіней приймаються формули:

$$N_{cm} = K_N \rho n^3 b D_{R2}^4, \quad (1.3.3)$$

де $K_N = 37,5 \text{Re}^{-0,3} \left[\left(\frac{a_1 z_1}{D_{R2}} \right)^{0,7} + \left(\frac{a_2 z_2}{D_{S2}} \right)^{0,7} \right] \left(1 + \frac{Q}{\pi n D_{R2} a_2 z_2 b} \right) \left(\frac{\delta}{D_{R2}} \right)^{0,2}$ – критерій потужності;

$\text{Re} = \frac{\rho n D_{R2}^2}{\mu}$ – відцентровий критерій Рейнольдса; a_1, a_2 – ширини прорізів, м ; z_1, z_2 – кількості прорізів, шт.; D_{R2} – діаметр ротора більший, м ; D_{S2} – діаметр статора більший, м ; Q – об'ємні витрати, $\text{м}^3/\text{с}$; b – висота зубців, м ; δ – ширина зазору ротора та статора, м ; ρ – густина рідини, кг/м^3 ; μ – коефіцієнт в'язкості рідини, $\text{Па}\cdot\text{с}$; n – частота обертання ротора, с^{-1} .

У [13] потужність пульсаційної ступені РПА пропонується визначати як

$$N_{cm} = \begin{cases} \frac{(\pi D_{R2} - z_1 a_1) b \mu w^2}{\delta}, & \text{якщо } \delta \leq \delta_{\min} \\ \frac{(\pi D_{R2} - z_1 a_1) b w^2}{\delta} \left(\rho \chi^2 w - \frac{2\mu}{\delta} + \frac{2\mu^2}{\rho \chi^2 \delta^2 w} \right), & \text{якщо } \delta > \delta_{\min}. \end{cases} \quad (1.3.4)$$

де a_1 – ширина прорізів ротора, м ; z_1 – кількості прорізів ротора, шт.; D_{R2} – більший діаметр ротора, м ; δ – ширина зазору між ротором і статором, м ; δ_{\min} – мінімальна відстань між ротором і статором, м ; χ – коефіцієнт довжини шляху змішування; w – швидкість обертання ротора, м/с ; μ – динамічний коефіцієнт в'язкості середовища, що піддається обробці, $\text{Па}\cdot\text{с}$; ρ – густина середовища, що піддається обробці, кг/м^3 ; b – висота зубців, м ;

За [14] величину потужності ступені РПА пропонується розраховувати за залежністю

$$N_{cm} = K_N \rho n^3 D_{R2}^5, \quad (1.3.5)$$

$$K_N = \begin{cases} 3,55 \cdot 10^3 \operatorname{Re}^{-0,5} \left(\frac{\delta}{D_{R2}} \right)^{0,25} \left(\frac{D_{S1}}{D_{R2}} \right)^{1,8} & \text{якщо } 1,3 \cdot 10^{-3} \leq \frac{\delta}{D_{R2}} \leq 12 \cdot 10^{-3} \\ 1,3 \cdot 10^3 \operatorname{Re}^{-0,5} \left(\frac{D_{S1}}{D_{R2}} \right)^{1,8} & \text{якщо } \frac{\delta}{D_{R2}} > 12 \cdot 10^{-3}, \end{cases}$$

де

– критерій

потужності; $\operatorname{Re} = \frac{\rho n D_{R2}^2}{\mu}$ – відцентровий критерій Рейнольдса; D_{R2} – більший діаметр ротора, м; D_{S1} – менший діаметр статора, м; δ – ширина зазору ротора та статора, м; ρ – густина рідини, кг/м³; μ – коефіцієнт в'язкості рідини, Па·с. n – частота обертання, с⁻¹.

Апробацію залежності та визначення емпіричних коефіцієнтів проведено з використанням апарата зануреного типу.

Згідно з [15], потужність пульсаційної ступені апарату визначається як

$$N_{cm} = K_N \rho b n^3 D_{R2}^4, \quad (1.3.6)$$

$$K_N = 1,54 \cdot 10^9 \operatorname{Re}^{-1,17} \left(\frac{\delta}{D_{R2}} \right)^{0,2} \left(\frac{a_1 z_1}{D_{R2}} \right)^{0,7} \quad \operatorname{Re} = \frac{\rho \pi n D_{R2}^2}{2\mu}$$

де

– відцентровий критерій Рейнольдса; a_1 – ширини прорізів ротора, м; z_1 – кількість прорізів ротора, шт.; D_{R2} – діаметр ротора більший, м; δ – ширина зазору ротора та статора, м; ρ – густина рідин, кг/м³; μ – коефіцієнт в'язкості рідини, Па·с; n – частота обертання, с⁻¹.

Апробацію залежності та визначення емпіричних коефіцієнтів проведено з використанням РПАі.

В [16] потужність розраховується з урахуванням конструктивних особливостей, відповідно до яких вибирається одна з формул:

$$N_{cm} = \begin{cases} 0,47 \rho n^3 D_{R2}^5, & \text{якщо } \frac{Q}{n D_{R2}^3} < 0,013 \\ 0,10 \rho n^3 D_{R2}^5 + 18,4 n^2 D_{R2}^2 Q, & \text{якщо } \frac{Q}{n D_{R2}^3} > 0,013. \end{cases} \quad (1.3.7)$$

де ρ – густина середовища, що піддається обробці, кг/м³; n – частота обертання ротора, с⁻¹; D_{R2} – більший діаметр ротора, м; Q – об'ємна витрата, м³/с.

Апробацію залежності та визначення емпіричних коефіцієнтів проведено з використанням РПА проточного типу. Залежність рекомендовано як для апаратів з прямокутною, так і з круглою або квадратною перфорацією робочих органів.

У [17] розрахунок потужності складається з двох частин. В першій частині відображена потужність, що необхідна для обертання валу у відповідь на опір рідини. В другій частині, відображено вплив конвекції на змішування.

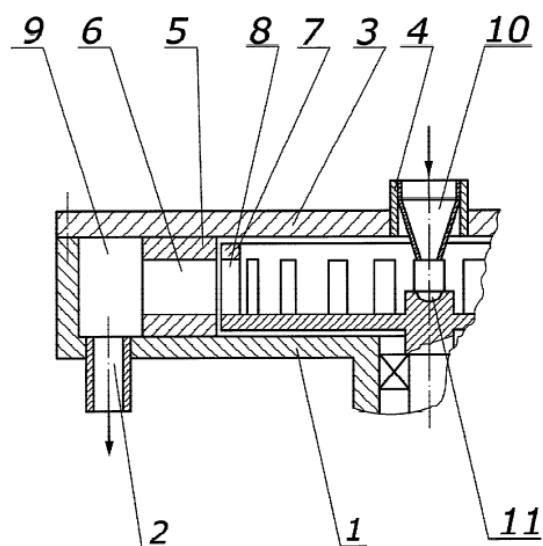
$$N_{cm} = K_N \rho n^3 D_{R2}^5 + K \rho Q n^2 D_{R2}^2, \quad (1.3.8)$$

де K_N – критерій потужності; ρ – густина середовища, що піддається обробці, кг/м^3 ; n – частота обертання ротора, с^{-1} ; D_{R2} – більший діаметр ротора, м; Q – об’ємна витрата, $\text{м}^3/\text{с}$.

1.3 Аналіз конструкцій для пульсаційної обробки волокнистих суспензій

На сучасному ринку представлені різноманітні варіанти конструкцій роторно-пульсаційних апаратів, що мають свої переваги та недоліки. Нижче наведені основні типи роторно-пульсаційних апаратів що підходять для процесу диспергування волокнистих суспензій.

Роторний апарат (рисунок 1.4.1) [18] відноситься до пристроїв для створення акустичних коливань в проточному рідкому середовищі та може бути застосований для проведення та інтенсифікації різноманітних фізико-хімічних, гідродинамічних та тепломасообмінних процесів в системах «рідина – рідина» та «тверде тіло – рідина».

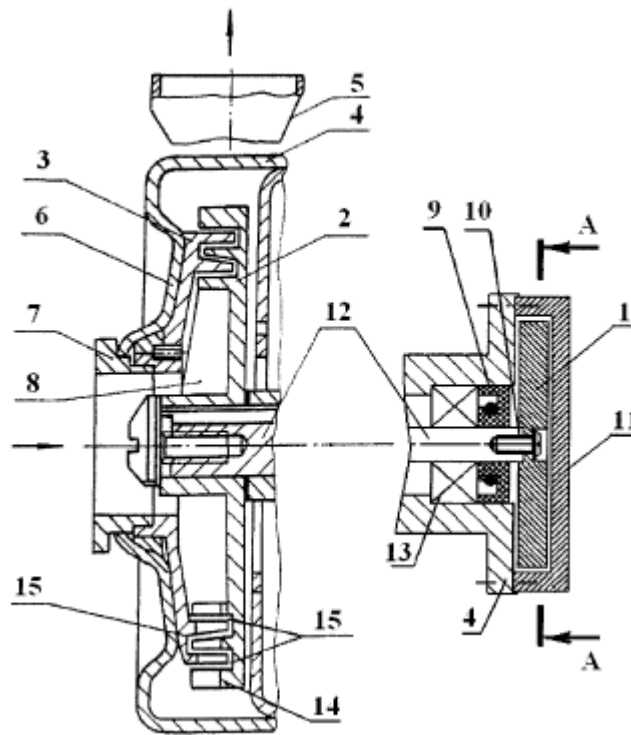


1 – корпус; 2 – патрубок виходу середовища; 3 – кришка; 4 – патрубок входу; 5 – статор; 6 – канали в бокових стінках; 7 – ротор; 8 – канали ротора; 9 – камера озвучування; 10 – конфузор; 11 – відбивач.

Рисунок 1.4.1 – Роторний апарат

Технічним результатом даної конструкції є інтенсифікація фізико-хімічних, гідромеханічних та тепломасообмінних процесів. Це досягається тим, що в роторному апараті, що містить корпус з патрубком входу та виходу середовища, концентрично встановлені в ньому ротор та статор з каналами в бокових стінках циліндрів, камеру та привід, у входному патрубку встановлений конфузор, а на внутрішній торцевій поверхні ротора навпроти виходу конфузора знаходиться увігнутий відбивач у вигляді лунки.

Роторно-пульсаційний апарат (рисунок 1.4.2) [19] відноситься до пристроїв для диспергування, гомогенізації та перемішування, може бути використаний при структуруванні рідини, що проходить через його камеру.



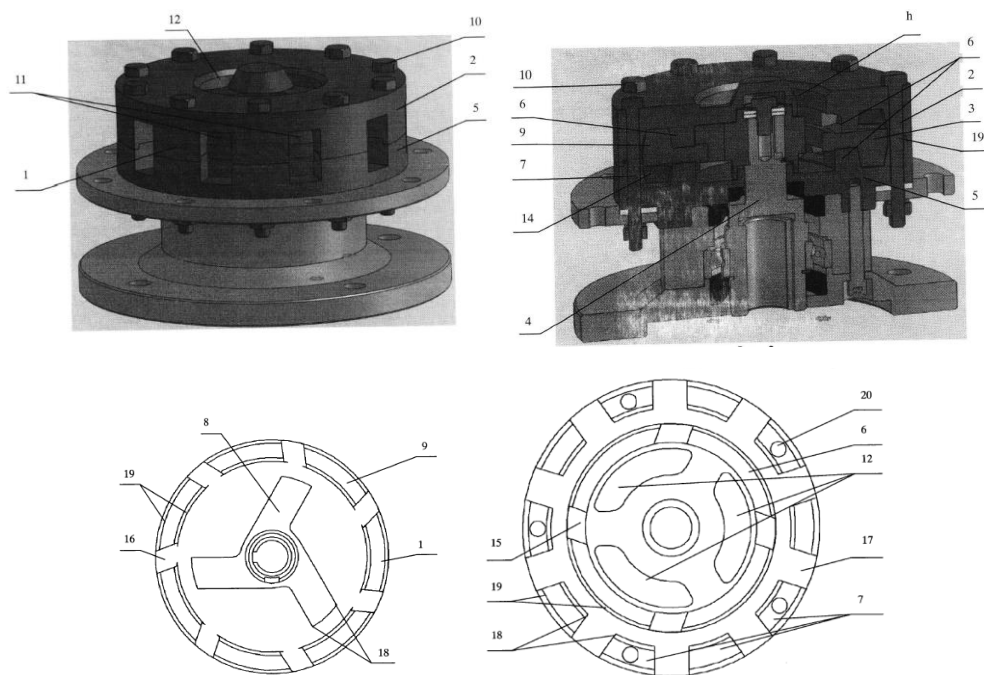
1 – лопатева крильчатка; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – корпус; 5 – випускний патрубок; 6 – кришка; 7 – впускний патрубок; 8 – входні лопатки; 9 – сальник; 10 – гвинт; 11 – кришка лопатевої крильчатки; 12 – вал ротора; 13 – підшипник; 14 – вихідні лопатки насоса; 15 – зубчаті елементи статора і ротора.

Рисунок 1.2 – Роторно – пульсаційний апарат

Технічним результатом такої конструкції є підвищення ефективності роботи РПА за рахунок зниження енерговитрат. Це досягається за рахунок енергії потоку рідини. Коли потік під тиском подається зовнішнім насосом в виконаний ззовні корпусу входний патрубок та ударяється об лопаті крильчатки, приводячи ротор апарату в обертання. Далі рідина під тиском витікає через вихідний патрубок та подається у впускний патрубок апарату для подальшої обробки. Для цього всередині корпусу на вал ротора жорстко встановлена лопатева крильчатка, яка приводиться в обертання за рахунок використання потоку рідини.

Роторно-пульсаційний апарат (рисунок 1.4.3) [20] відноситься до області подрібнення та диспергування матеріалів та може бути використаний в різноманітних галузях промисловості.

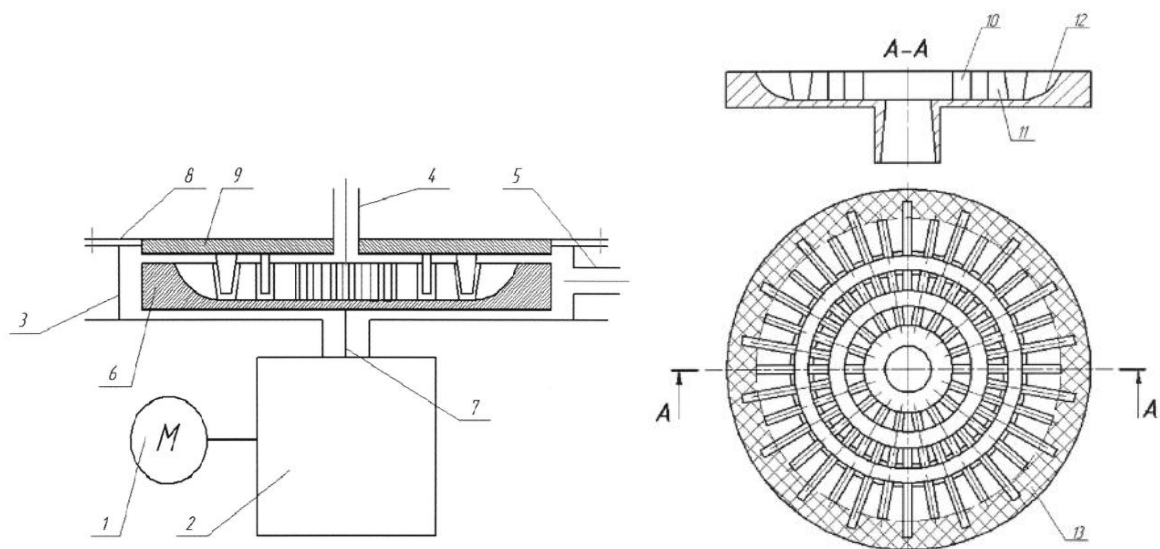
Технічним результатом цього апарату є збільшення продуктивності та підвищення якості продукції. Збільшення продуктивності, обумовлене одночасною подачею перероблюваного матеріалу та рідини з протилежних сторін в робочі камери з утворення двох потоків обробки матеріалу та безперешкодному вивантаженні кінцевого продукту при збереженні постійного значення вживаної потужності, та підвищенні якості кінцевого продукту за рахунок підвищення однорідності складу та досягненні дрібно – дисперсного стану кінцевого продукту.



1 – корпус; 2 – статорний диск; 3 – роторний диск; 4 – вал; 5 – додатковий диск;
6, 7, 9 – виступи; 8 – криволінійні лопаті; 10 – елементи кріплення; 11 – вікна;
12 – фігурні отвори; 13, 14 – робочі камери; 15, 16, 17 – наскрізні пази; 18 –
нарізаючі елементи; 19 – фаски; 20 – отвори.

Рисунок 1.4.3 – Роторно-пульсаційний апарат з двома камерами введення.

Роторно-пульсаційний апарат (рисунок 1.4.4) [21] призначений для отримання стабільних дисперсних систем з рідкою фазою та може бути використаний в харчовій, хімічній, фармацевтичній та інших галузях промисловості.



1 – електродвигун; 2 – привід – мультиплікатор; 3 – циліндричний корпус; 4 – вхідний патрубок; 5 – вихідний патрубок; 6 – ротор; 7 – вертикальний вал; 8 – кришка корпусу; 9 – статор; 10 – прямокутні концентрично розташовані зуби; 11 – трапецеїдальні концентрично розташовані зуби; 12 – радіальні канали; 13 – робоча зона.

Рисунок 1.4.4 – Роторно – пульсаційний апарат.

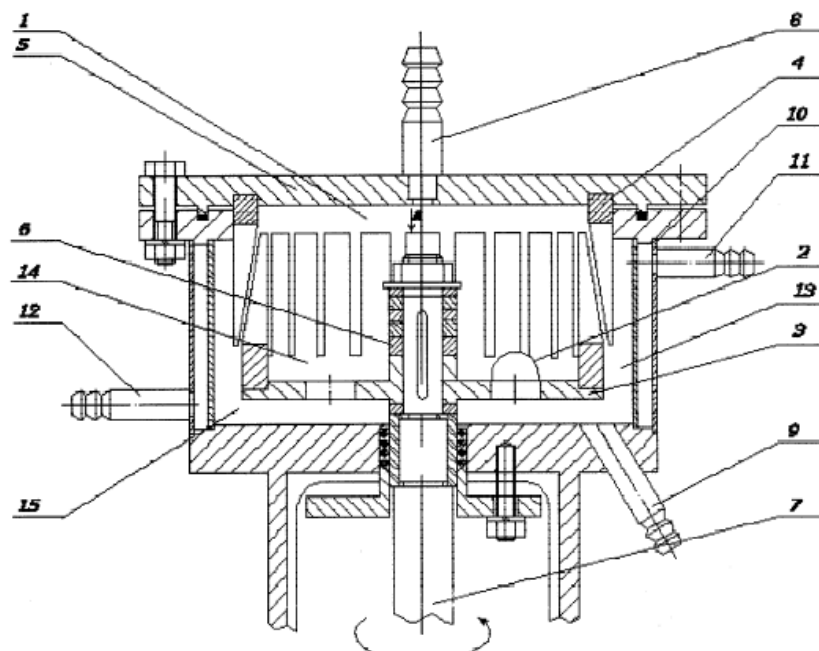
Технічним результатом є багатократний та багатofакторний вплив на робоче середовище додатковою турбулізацією потоку та створення умов для стирання дисперсної фази у тонкому шарі.

Поставлена задача досягається тим, що пристрій містить корпус з вхідним та вихідним патрубками з встановленими в ньому ротором та статором з робочими елементами у вигляді концентрично розташованих зубів, які відрізняються тим, що ротор та статор на периферії мають кільцеві рифлені

робочі зони, а в рифленій зоні ротора виконані радіальні канали з глибиною яка поступово зменшується.

Роторно – пульсаційний апарат з направляючими лопатями (рис. 1.4.5) [22] відноситься до пристроїв, що реалізують метод багатофакторного енергетичного впливу на хіміко – технологічні процеси, а також здатні до інтенсифікації процесів гомогенізації та диспергування гетерогенних систем, та може бути використана в харчовій, хімічній та інших галузях промисловості.

Технічним результатом є підвищення ефективності процесу диспергування та гомогенізації в апараті за рахунок направленої циркуляції потоків рідини та підвищення якості отриманої суміші. Це досягається завдяки тому, що в корпусі апарата на зовнішній стороні ротора встановлені лопаті напівсферичної форми, які розташовані біля отворів основи ротора.



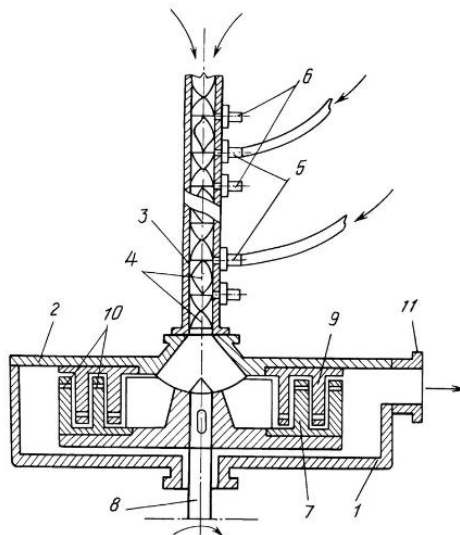
1 – корпус; 2 – лопаті напівсферичної форми; 3 – отвори статора; 4 – статор з прорізами; 5 – кришка; 6 – регулюючі шайби; 7 – вал; 8,9,11,12 – патрубки входу та виходу; 10 – оболонка; 13 – робоча камера; 14, 15 – нижня та зовнішня робочі камери.

Рисунок 1.4.5 – Роторно – пульсаційний апарат з направляючими лопатями.

Роторно-пульсаційний апарат із статичним змішувачем (рис. 1.4.6) [23] відноситься до апаратів для змішування в'язких середовищ при отриманні гомогенних або гетерогенних сумішей і може використовуватися в нафтохімічній промисловості, в тому числі для отримання сумішей з різних розчинів високомолекулярних полімерів, сумішей з низькомолекулярних полімерів, наприклад епоксікаучукових композицій.

Технічним результатом є переналагодження пристрою при зміні числа компонентів, що змішуються або їх співвідношення та досягається тим, що розподільний пристрій містить нерухомі змішувальні елементи, які можуть бути встановлені в будь-якій кількості, необхідній для досягнення необхідної якості змішування. Вносити конструктивні зміни в основну конструкцію роторно-пульсаційного апарату не треба.

Додаткові змінні патрубки встановлені в місцях стику змішувальних елементів. Діаметри додаткових патрубків обираються відповідно в'язкості і концентрації суміші, що оброблюється.

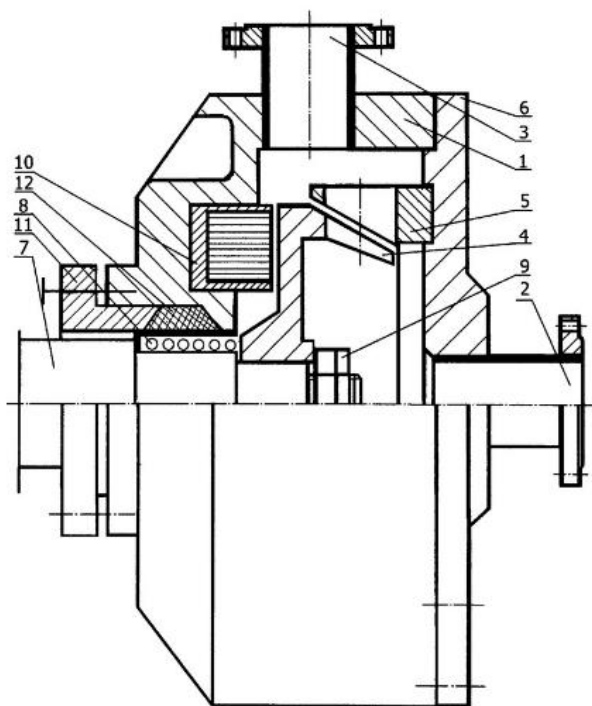


1 – корпус; 2 – кришка; 3 – вхідний патрубок; 4 - змішуючі елементи; 5 – змінні додаткові патрубки; 6 – заглушки; 7 – ротор; 8 – вал; 9 – статор; 10 – прорізи; 11 – вихідний патрубок.

Рисунок 1.4.6 – Роторно – пульсаційний апарат із статичним змішувачем.

РПА з електромагнітом (рис. 1.4.7) [24] призначений для підвищенні ефективності процесів змішування, емульгування, гомогенізації, диспергування гетерогенних систем і може бути використаний в харчовій, фармацевтичній, хімічній та інших галузях промисловості. З метою інтенсифікації процесів в РПА і підвищення якості одержуваного продукту ротора повідомляються осьові вібрації щодо статора за допомогою подачі змінної напруги на обмотку електромагніта, вбудованого в корпус. Частота вібрацій вибирається кратною частоті перекриття отворів ротора і статора. Остання умова є необхідною для ефективної роботи апарату.

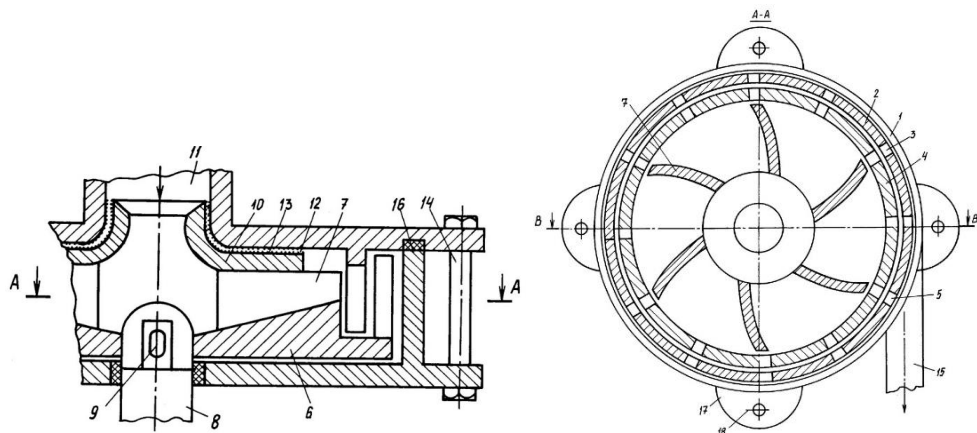
Технічним результатом є підвищення ефективності процесів і поліпшення якості одержуваної суміші при збільшенні терміну служби апарату, що досягається за рахунок того, що електромагніт вмонтований в корпус перед ротором.



1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – вихідний патрубок; 4 – ротор; 5 – статор; 6 – кришка; 7 – вал; 8 – пружина; 9 – гайка; 10 – електромагніт; 11 – кришка; 12 – ущільнення.

Рисунок 1.4.7 – Роторно – пульсаційний апарат з електромагнітом.

Роторно-пульсаційний апарат (рис. 1.4.8) [25] призначений для проведення в полі пружних коливань процесів гомогенізації та інших процесів, що протікають в рідині. Технічним результатом є створення апарату, що дозволяє інтенсифікувати процес гомогенізації рідини, зокрема - мазуту, що містить ниткоподібні битумінізовані згустки та досягається за рахунок того, що в запропонованій конструкції роторно-пульсаційного апарату використовуються коаксиально встановлені ротор і статор, забезпечені прорізами. Ротор забезпечений клиновидними лопатями, виконаними у вигляді сферичних сегментів, звернених опуклими частинами в сторону обертання і закріплених на поверхні диска ротора, що має форму конуса з вершиною на осі обертання. На лопатях на мінімальній відстані від статора закріплена має форму горла глечика насадка, що утворює із статором кільцеву канал, частково входить у вхідний патрубок, при цьому на стінках каналу завдано абразивний матеріал.

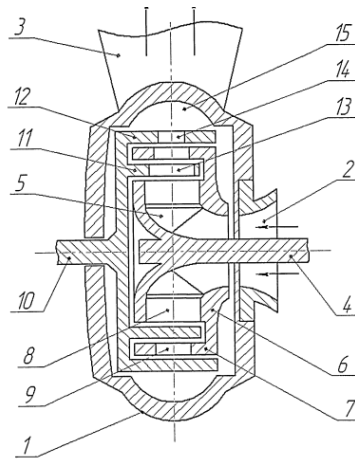


1 – корпус; 2 – статор; 3, 5 – прорізи; 4 – ротор; 6 – конусоподібний диск; 7 – лопаті; 8 – вал; 9 – шпонка; 10 – насадка; 11 – вхідний патрубок; 12 – канал; 13 – абразивний матеріал; 14 – болти; 15 – вихідний патрубок; 16 – прокладка; 17 – лапи; 18 – отвори.

Рисунок 1.4.8 – Роторно-пульсаційний апарат.

Роторний гідроударний апарат (рис. 1.4.9) [26] відноситься до гірської промисловості і може бути використано в інших галузях для диспергування, змішування, приготування суспензій, емульгування різних речовин, а також для приготування водовугільній суспензії.

Технічним результатом є створення пристрою, який дозволяє генерувати імпульси з частотою резонансного розриву частинок, подрібнювати матеріал до необхідної тоніни помелу та досягається тим, що роторний гідроударний апарат, що містить корпус з вхідним і вихідним патрубками, внутрішній ротор з лопатями відцентрового насоса і циліндричним кільцем, по периметру якого виконані щілиновидні дифузори, зовнішній ротор протivotочного обертання з конфузора по периметру його циліндричного кільця, концентрично охоплює внутрішній ротор, і робочу камеру, додатково забезпечений циліндричними кільцями на внутрішньому роторі і на зовнішньому роторі, по периметру яких розташовані дифузори і конфузори відповідно, за умови що конфузори циліндричного кільця на зовнішньому роторі виконані з меншим діаметром в порівнянні з дифузорами циліндричного кільця на внутрішньому роторі.

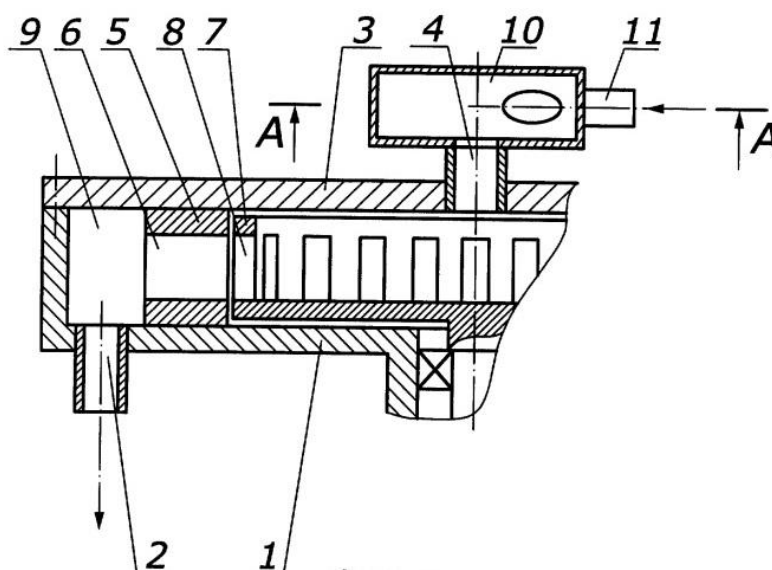


1 – корпус; 2 – вхідний патрубок; 3 – вихідний патрубок; 4 – внутрішній ротор; 5 – лопаті; 6, 7 – циліндричні кільця; 8, 9 – дифузори; 10 – зовнішній ротор; 11, 12 – циліндричні кільця; 13, 14 – конфузори; 15 – робоча камера.

Рисунок 1.4.9 – Роторний гідроударний апарат

Роторний апарат (рис. 1.4.10) [27] відноситься до пристроїв для створення акустичних коливань в проточній рідкому середовищі і може бути використано для проведення і інтенсифікації різних фізико-хімічних, гідромеханічних і тепломасообмінних процесів в системах «рідина-рідина».

Технічним результатом є збільшення енергії звукової хвилі в порожнині ротора і розширення типорозмірів насосів та досягається тим, що в роторному апараті, що містить корпус з патрубками входу і виходу середовища, концентрично встановлені в ньому ротор і статор з каналами в бічних стінках циліндрів, камеру озвучування, привід і джерело додаткових пульсацій, на вхідному патрубку встановлена циліндрична вихрова камера більшого діаметра, а рідке середовище подається в камеру через патрубок, виконаний тангенціально до її внутрішньої поверхні.



1 – корпус; 2 – патрубок виходу; 3 – кришка; 4 – патрубок входу; 5 – статор; 6,8 – канали; 7 – ротор; 9 – камера озвучування; 10 – вихрова циліндрична камера; 11 – патрубок тангенціального вводу середовища.

Рисунок 1.4.10 – Роторний апарат

1.4 Мета і завдання досліджень

При виробництві паперової маси процес диспергування волокнистих суспензій є основною лімітуючою стадією технологічної схеми виробництва матеріалу.

Для розрахунку цього процесу необхідно знати його кінетичні закономірності, які, на жаль, в літературі недостатньо описані. Тому метою роботи є встановлення закономірностей диспергування макулатурної маси у роторно-пульсаційному апараті.

Відповідно до поставленої мети сформульовано наступні задачі досліджень:

- обґрунтувати фізичну модель диспергування волокнистих суспензій у роторно-пульсаційному апараті;
- скласти та розв'язати математичну модель кінетики пульсаційного диспергування волокнистих суспензій;
- сформулювати вимоги до конструкції РПА для проведення процесу диспергування макулатурної маси;
- обґрунтувати методику експериментальних досліджень та провести модернізацію дослідної установки.;
- виконати експериментальну перевірку положень фізичної моделі та перевірити можливість використання запропонованого математичного опису для визначення параметрів процесу;
- скласти алгоритм розрахунку та обґрунтувати конструкцію промислового апарата;
- дати рекомендації з впровадження результатів дисертаційної роботи у виробництво.

1.5 Висновки по розділу

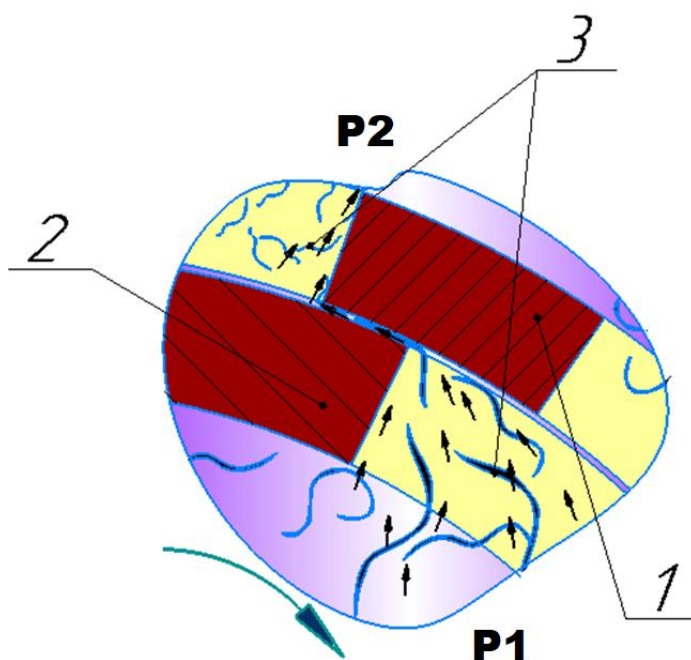
Аналіз матеріалів вітчизняних і зарубіжних публікацій показав, що роботи по вдосконаленню конструкцій РПА спрямовані на зменшення енерговитрат і підвищення якості продукції.

Проте кінетичні закономірності процесу пульсаційного диспергування волокнистих суспензій в літературі висвітлені недостатньо. Дослідження кінетичних закономірностей процесу пульсаційного диспергування дозволять запропонувати шляхи інтенсифікації цього процесу, що дасть змогу збільшити швидкість та підвищити продуктивність РПА. Тому в роботі ставляться мета і задачі, вирішення яких дасть кінетичні залежності і основні параметри, необхідні для розрахунку і конструювання РПА для диспергування волокнистих суспензій.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПУЛЬСАЦІЙНОГО ДИСПЕРГУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ СУСПЕНЗІЙ

2.1 Фізична модель процесу

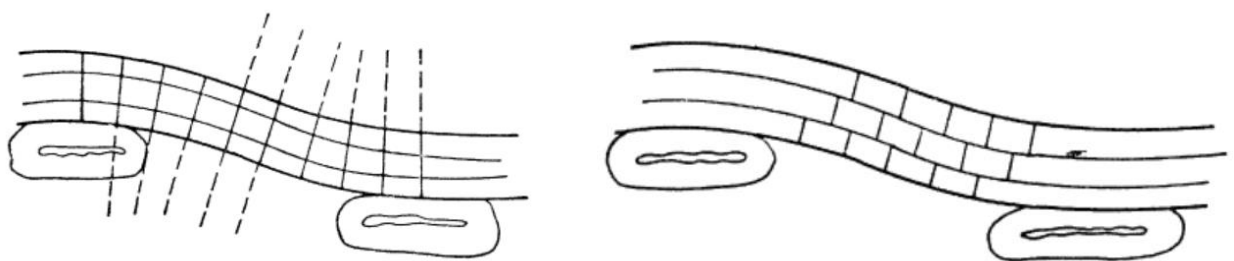
Волокниста маса подається у внутрішню порожнину робочого вузла РПА. Волокна 3 під дією відцентрової сили та перепаду тисків $P1$ і $P2$, що створюється обертанням ротора 2, відкидається у радіальному напрямку та спрямовується у прорізи на бічній поверхні статора 1. Послідовно проходячи крізь прорізи циліндрів ротора і статора, а також радіальні зазори волокна піддаються механічному впливу у вигляді удару об робочі органи, дії зсувних навантажень, стисканню, зрізу та гідродинамічних впливів основними з яких є гідравлічне тертя, пульсаційний та акустичні впливи та пов'язані з ними явища. Результатом обробки є сильне фібрилювання волокон (як зовнішнє так і внутрішнє), а також вирівнювання їх довжини.



1 – статор; 2 – ротор; 3 – волокна.

Рисунок 2.1.1 – Фізична модель процесу обробки волокнистих суспензій в РПА.

При обертанні ротора площа живого перерізу, періодично зменшується або збільшується, що призводить до виникненню гідродинамічних пульсацій тиску. При розмолі деформація кліткових стінок відбувається за рахунок ротора та статора, а також шляхом взаємного тертя волокон. Ця деформація може бути як пружна так і пластична. При пружній деформації волокна після зникнення сили, що її визвала, повертається у свій початковий стан (рисунок 2.1.2-а). Пружна деформація характерна для недостатньо внутрішньо фібрильованих волокон. А при пластичній деформації форма волокон змінюється під дією прикладених сил та його структура зазнає перегрупування. Після зникнення деформуючої сили, нова форма волокна зберігається (рисунок 2.1.2-б). Набухання волокон, при контакті з водою, створює умови для внутрішнього фібрилювання. При внутрішньому фібрилюванні відбувається розділення вторинної стінки волокна на тонкі шари, в наслідок чого волокна стають більш еластичними та м'яким. Внутрішнє фібрилювання сприяє розвитку поверхневих зв'язків та в цілому активної поверхні волокон.



а

б

а – пружна деформація; б – пластична деформація

Рисунок 2.1.2 – Схематичне зображення пружної та пластичної деформації волокон.

2.2 Математична модель процесу

Припустимо, що $X(\theta)$ – випадкова величина, яка описує кількість волокон в РПА в деякий період часу θ ; x – значення, яке ця величина може мати. $P_x(\theta) = P\{X(\theta) = x\}$ – можливість того, що $X(\theta)$ набуде значення x . Швидкості надходження нових волокон та їх відходження в масі позначимо як $\lambda(\theta)$ та $\mu(\theta)$. Якщо в момент часу θ кількість волокон складе x ($x \geq 1$), то можливість того, що за період часу $\Delta\theta$ здійсниться перехід $x \rightarrow (x + 1)$ складе $\lambda(\theta)x\Delta\theta + o(\Delta\theta)$; можливість того, що за період часу $\Delta\theta$ здійсниться перехід $x \rightarrow (x - 1)$ складе $\mu(\theta)x\Delta\theta + o(\Delta\theta)$; можливість зміни стану, відмінного від наведених вище складе $o(\Delta\theta)$; можливість нульових змін складе $1 - (\lambda(\theta) + \mu(\theta))x\Delta\theta + o(\Delta\theta)$. Враховуючи вказані положення і спрямувавши $\Delta\theta$ до нуля, одержимо диференціально-різничне рівняння для імовірності $P_x(\theta)$ для всіх $x \geq 1$:

$$\frac{dP_x(\theta)}{d\theta} = \mu(\theta)(x + 1)P_{x+1}(\theta) + \lambda(\theta)(x - 1)P_{x-1}(\theta) -$$
(2.2.1)

$$-(\lambda(\theta) + \mu(\theta))xP_x(\theta)$$

Рівняння (2.2.1) розв'яжемо встановивши такі умови однозначності:

- за відсутності в системі частинок ($x = x_0 = 0$):

$$\frac{dP_{x_0}(\theta)}{d\theta} = \mu(\theta)P_1(\theta);$$
(2.2.2)

- в початковий момент часу ($\theta = \theta_0 = 0$):

$$P_x(\theta_0) = \begin{cases} 1 & \text{при } x = 1 \\ 0 & \text{при } x \neq 1 \end{cases}$$
(2.2.3)

Розв'язання рівняння (2.2.1) з граничними умовами (2.2.3) і (2.3.3) проведемо методом твірних функцій. Вважаючи, що $P_x(\theta) = 0$ при усіх $x < 0$

$$\phi(s, \tau) = \sum_{x=0}^{\infty} P_x(\theta) s^x, \quad (2.2.4)$$

де $\phi(s, \theta)$ – твірна функція;

s – змінна твірної функції.

При цьому функція (2.2.4) відповідає рівнянню:

$$\frac{\partial \phi}{\partial \tau} = (s - 1)(\lambda(\theta)s - \mu(\theta)) \frac{\partial \phi}{\partial s} \quad (2.2.5)$$

початковою умовою $\phi(s, 0) = s$.

Для розв’язання (2.2.5) необхідне додаткове рівняння:

$$\frac{\partial s}{\partial \tau} \lambda(\theta) s^2 - (\lambda(\theta) + \mu(\theta))s + \mu(\theta), \quad (2.2.6)$$

що являється рівнянням Рікатті. Для його розв’язання запишемо функцію констант інтегрування:

$$s = \frac{f_1(\theta) + C f_2(\theta)}{f_3(\theta) + C f_4(\theta)},$$

де $f_1(\theta), f_2(\theta), f_3(\theta), f_4(\theta)$ – допоміжні функції.

Звідси отримаємо:

$$C = \frac{s f_3(\theta) - f_1(\theta)}{f_2(\theta) - s f_4(\theta)}.$$

Запишемо розв’язок рівняння в загальному вигляді

$$\phi(s, \theta) = \Phi \left(\frac{s f_3(\theta) - f_1(\theta)}{f_2(\theta) - s f_4(\theta)} \right).$$

Врахувавши початкові умови ($\phi(s, 0) = s$) отримаємо:

$$\phi(s, \theta) = \frac{g_1(\theta) - s g_2(\theta)}{g_3(\theta) - s g_4(\theta)}, \quad (2.2.7)$$

де $g_1(\theta), g_2(\theta), g_3(\theta), g_4(\theta)$ – допоміжні функції.

Розкладаючи в ряд рівняння (2.2.7), отримаємо:

$$P_x(\theta) = \begin{cases} P_x(\theta) = (1 - P_0(\theta))(1 - \beta(\theta))(\beta(\theta))^{x-1}; \\ P_0(\theta) = \alpha(\theta) \end{cases}; \quad (2.2.8)$$

де $\alpha(\theta)$ і $\beta(\theta)$ – допоміжні функції.

Враховувавши (2.2.8) запишемо:

$$\phi(s, \theta) = \frac{\alpha(\theta) + (1 - \alpha(\theta) - \beta(\theta))s}{1 - \beta(\theta)s}. \quad (2.2.9)$$

Використавши (2.2.9) у (2.2.7) отримаємо:

$$\beta(\theta)\alpha'(\theta) - \alpha(\theta)\beta'(\theta) + \beta'(\theta) = \lambda(\theta)(1 - \alpha(\theta))(1 - \beta(\theta)), \quad (2.2.10)$$

$$\alpha'(\theta) = \mu(\theta)(1 - \alpha(\theta))(1 - \beta(\theta)). \quad (2.2.11)$$

Позначимо $U = 1 - \alpha(\theta)$ і $V = 1 - \beta(\theta)$. Тоді з (2.2.10) і (2.2.11) отримаємо

$$\begin{aligned} \frac{U'}{U} &= -\mu(\theta)V, \\ V' &= (\mu(\theta) - \lambda(\theta))V - \mu(\theta)V^2. \end{aligned} \quad (2.2.12)$$

Нехай $W = 1/V$, тоді отримаємо рівняння (2.2.12) у вигляді:

$$W' + (\mu(\theta) - \lambda(\theta))W = \mu(\theta). \quad (2.2.13)$$

Рівняння (2.2.13) є лінійним диференціальним рівнянням першого порядку, рішення якого, з врахуванням того, що в початковий момент часу $\alpha(\theta) = \beta(\theta) = 0$, і $U = V = 1$ записується як

$$W = e^{-v(\theta)} \left(1 + \int_0^\theta e^{v(\theta)} \mu(\theta) dt \right), \quad (2.2.14)$$

де $v(\theta)$ – функція часу

$$v(\theta) = \int_0^\theta (\mu(\theta) - \lambda(\theta)) dt;$$

t – змінна інтегрування.

Переходячи до значень U і V , можна виразити $\alpha(\theta)$ і $\beta(\theta)$ через W і $v(\theta)$:

$$\frac{U'}{U} = -\frac{W'}{W} = -v'(\theta). \quad (2.2.15)$$

З урахуванням (2.2.15) маємо:

$$\alpha(\theta) = 1 - \frac{e^{-v(\tau)}}{W}; \quad \beta(\theta) = 1 - \frac{1}{W}.$$

Отже, отримаємо математичне очікування кількості частинок в проміжок часу від 0 до θ виглядатиме так:

$$m_x(\theta) = \frac{1 - \alpha(\theta)}{1 - \beta(\theta)} = e^{-v(\theta)}. \quad (2.2.16)$$

Представимо $m_x(\theta)$ як співвідношення початкової і поточної питомої поверхонь волокон, які у свою чергу, пропорційні величинам водоутримання, визначеними за методом Шоппер-Ріглера. Тоді:

$$m_x(\theta) = \frac{\text{ШР}(\theta_0)}{\text{ШР}(\theta)} \quad (2.2.17)$$

Підставивши рівняння 2.2.16 у 2.2.17 отримаємо:

$$\frac{\text{ШР}(\theta)}{\text{ШР}(\theta_0)} = e^{v(\theta)} \quad (2.2.22)$$

де $\text{ШР}(\theta_0)$ і $\text{ШР}(\theta)$ – питомі градуси помелу в початковій і деякий момент часу.

2.3 Висновки по розділу

Виділено фізичні явища, внаслідок прояву яких відбувається диспергування волокнистої суспензії при проведенні процесу механічним способом. Визначено механізми розділення волокон при утворенні волокнистої маси.

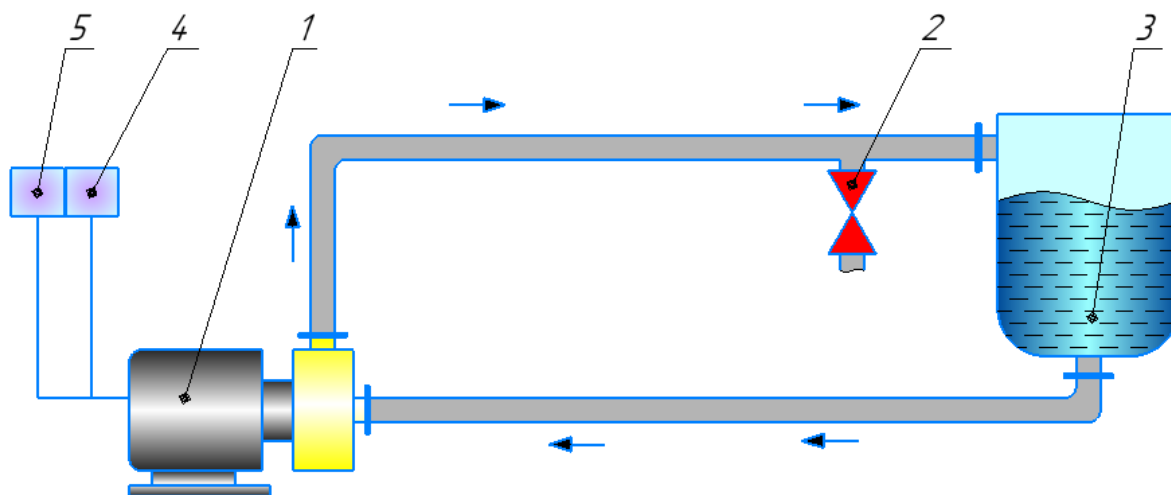
Розроблено імітаційну модель руху волокнистої суспензії в РПА, на основі аналізу якої встановлено зміни гідродинамічного стану суспензії при її обробці і сформульовано принципи взаємодії робочих органів РПА з диспергуючим і дисперсним середовищами при обробці волокнистих суспензій.

Сформульовано положення математичного опису процесу диспергування волокнистих суспензій в РПА, виконано аналіз процесу пульсаційного диспергування і складена математична модель процесу диспергування волокнистих суспензій.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПУЛЬСАЦІЙНОГО ДИСПЕРГУВАННЯ ВОЛОКНИСТИХ СУСПЕНЗІЙ

3.1 Опис експериментальної установки

Для проведення досліджень розроблена експериментальна установка, що показана на рисунку 3.1.1.



1 – РПА; 2 – витратомір; 3 – резервуар для волокнистої маси; 4 – ватметр; 5 – тахометр.

Рисунок 3.1.1 – схема експериментальної установки

Установка містить роторно-пульсаційний апарат 1, резервуар для волокнистої маси 3, що з'єднані між собою системою трубопроводу та прилади для вимірювання параметрів процесу: 2 – кран для відбору проб, 4 – ватметр, 5 – тахометр.

Наведена на схемі установка працює у такий спосіб. Волокниста суспензія завантажуються у ємкісний апарат 3, після чого потрапляє до з'єднаного з ємкісним апаратом підвідного трубопроводу, по якому подається до роторно-пульсаційного апарата 1, у якому відбувається обробка волокнистої суспензії, після чого вона по відвідному трубопроводу повертається до ємкісного апарата

3. Далі обробка повторюється у циклічному режимі з кратністю циркуляції по контуру, достатньою для досягнення заданого результату. По закінченні обробки волокниста суспензія вивантажується з установки.

3.2 Методика проведення експериментальних досліджень

Програма дослідження передбачає приготування вихідної водо-волокнистої суспензії розпусканням у гідророзбивачі протягом 10 хв. листів друкарського паперу щільністю 80 г/м² при різних концентраціях волокна (1, 2 і 3 % мас.). З одержаної суспензії відбиралась вихідна проба, після чого однакова для всіх дослідів кількість суспензії перевантажувалась у резервуар лабораторної установки. Обробка суспензії проводиться в РПА з визначенням параметрів процесу і відбиранням проб через визначені проміжки часу за встановленою програмою. При обробці частота обертання ротора встановлювалась рівною 50 Гц, вимірювались початкова та кінцева температура суспензії, об'ємна витрата та потужність приводу апарата. Ступень помелу відібраних проб визначається за допомогою приладу Шопера-Рігlera, а середня довжина волокон визначалась як середнє арифметичне результатів курвіметричних вимірювань індивідуальних довжин волокон (вибірки, не менше 500 одиниць кожна) знятих з мікрофотографій відібраних проб обробленої суспензії.

Порядок роботи з установкою при проведенні досліджень:

1. Перед початком дослідження перевірити:
 - Заземлення;
 - Гідравлічний контур;
 - цілість та герметичність з'єднань ємкостей;
 - крани Встановлені у робочому положенні;
2. При проведенні досліджень:
 - Заповнити приймальну ємкість завчасно підготовленою волокнистою суспензією;
 - Запустити РПА і вивести його на робочу частоту обертання ротора;

- Після виходу ротора на робочу частоту обертання почати відлік часу;
 - В умовах циркуляції рідини по замкненому контуру установки, за заданою по часу програмою здійснити відбір проб;
 - Провести вимірювання величини потужності;
 - Провести вимірювання і визначити об'ємну витрату волокнистої суспензії;
 - Провести вимірювання температури волокнистої суспензії;
 - Поступово знизити частоту обертання ротора;
 - Знеструмити установку;
 - Записати значення вимірюваних параметрів;
3. Після проведення досліджень
- Почистити установку;
 - Встановити крани у неробоче положення (всі трубопроводи відкриті на прохід);
 - Виміряти ступень помелу та середньозважену довжину волокна в кожній з проб.

3.3 Методика аналізу експериментальних досліджень

Аналіз експериментальних досліджень проводиться шляхом визначення необхідних критеріїв, що підтверджують адекватність отриманих даних та математичної моделі. До складу цих критеріїв входять: похибки приладів і візуального спостереження, критерій Фішера, коефіцієнт кореляції, відносна похибка отриманих вимірювання.

Похибки приладів і візуального спостереження розраховані у додатку А. Критерій Фішера розраховується за формулою:

$$F_{\text{розр}} = \frac{\sum(Y_{i,\text{розр}} - Y_{\text{ср,розр}})^2}{m} \times \frac{n-m-1}{\sum(Y_i - Y_{i,\text{розр}})^2} \quad (3.3.1)$$

де:

Y_i – експериментальне значення параметру;

$Y_{i,\text{розр}}$ – розрахункове значення параметру;

$Y_{\text{ср,розр}}$ – середнє розрахункове значення;

$m=1$ – кількість факторів, що впливають на параметр

$n=10$ – кількість спостережень.

Спростивши рівняння (3.3.1) отримаємо:

$$F_{\text{розр}} = 8 \times \frac{\sum (Y_{i,\text{розр}} - Y_{\text{ср,розр}})^2}{\sum (Y_i - Y_{i,\text{розр}})^2} \quad (3.3.2)$$

Коефіцієнт кореляції розраховується за формулою:

$$r_{xy} = \frac{\sum (x_i - x_{\text{ср}})(y_i - y_{\text{ср}})}{\sqrt{\sum (x_i - x_{\text{ср}})^2 \times \sum (y_i - y_{\text{ср}})^2}} \quad (3.3.3)$$

де:

x_i, y_i – параметри x та y у певний проміжок часу;

$x_{\text{ср}}, y_{\text{ср}}$ – середні значення параметрів x та y .

3.4 Результати та аналіз експериментальних досліджень

Результати дослідження, узагальнені у вигляді графічних залежностей, наведені на рисунках 3.4.1 і 3.4.2.

Особливість залежностей полягає у тому, що середня довжина волокон, та ступінь помелу маси представлені як функція від інваріантного параметра – знерозміреного часу, що виражається як $\Theta = t/t_u$, де t і t_u , відповідно, час обробки суспензії і тривалість одного циклу обробки.

З рисунку 3.4.1 видно, що зі збільшенням концентрації волокон у суспензії, початкова довжина волокон збільшується, а вкорочення волокон за однакової кількості циклів пульсаційної обробки – зменшується. Це відповідає опублікованим даним з інших джерел інформації, і свідчить про те, що підвищення концентрації волокон дозволяє забезпечити більш ощадний щодо вкорочення волокон режим розволокнення. Останнє особливо важливе, оскільки

недопущення перевкорочення волокон дає можливість забезпечити високу якість сформованого полотна і збільшити кількість циклів вторинної переробки картонно-паперової продукції.

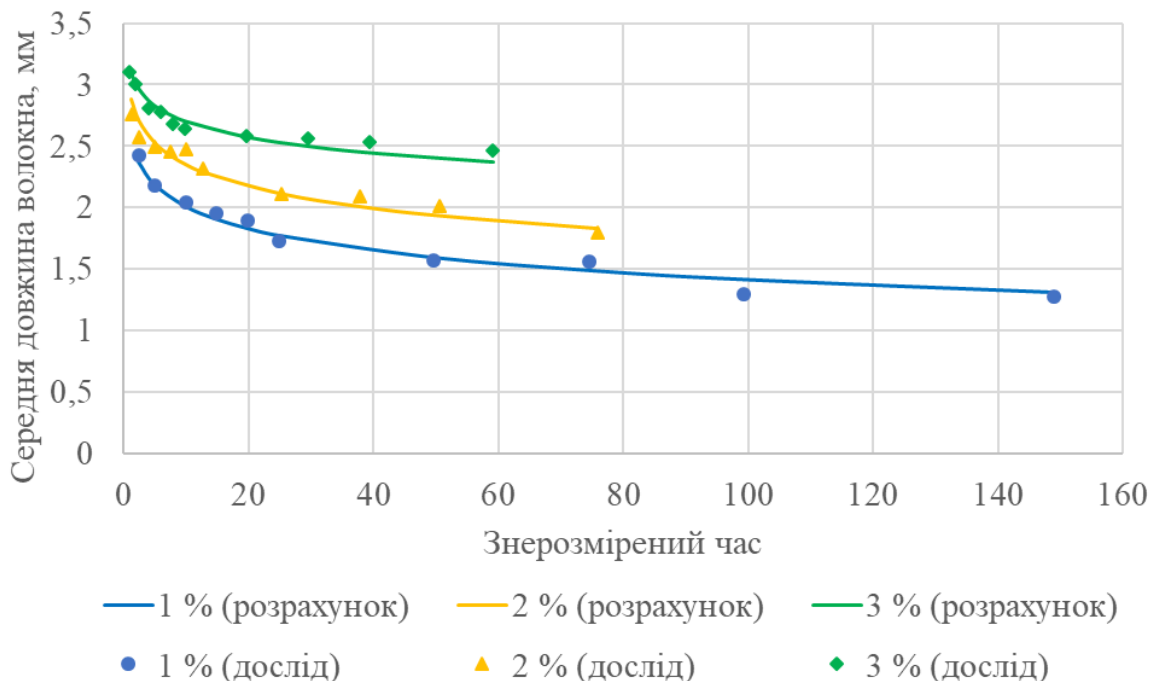


Рисунок 3.4.1 - Залежність середньої довжини волокон від знерозміреного часу обробки суспензії у РПА.

З рисунку 3.4.2 видно, що зі збільшенням концентрації волокон у суспензії, та ступінь помелу маси значно зростає, за досить невеликий проміжок часу обробки в РПА. Також видно, що при досягненні деякої межі по часу обробки маси в РПА, ступінь помелу досягає свого максимального значення. Це свідчить про ефективність використання роторно-пульсаційних апаратів у якості обладнання для розмелювання.

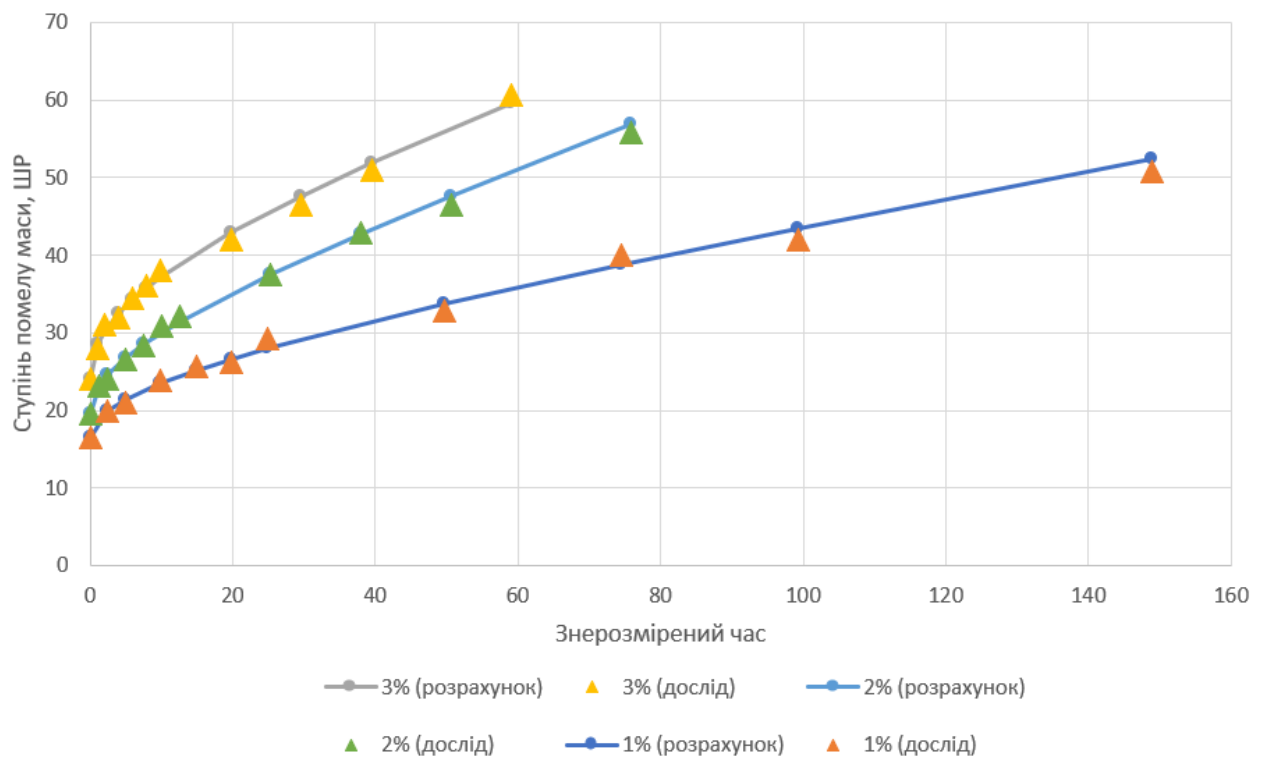


Рисунок 3.4.2 - Залежність ступеня помелу маси від знерозміреного часу обробки суспензії у РПА.

На рис. 3.4.3, а наведені значення питомої корисної витрати енергії, визначеної як відношення складової потужності, що використовується безпосередньо на обробку волокон до масової продуктивності по волокну, від концентрації волокон у суспензії. На рис. 3.4.3, б зображені дані, що характеризують вплив концентрації волокна на загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) РПА.

Характер кривих на рис. 3.4.3 вказує на нелінійне зростання енергетичних характеристик зі збільшенням концентрації волокон у суспензії. Враховуючи, що зі збільшенням концентрації, зменшується вкорочення волокон, можна зробити висновок, що додаткові витрати енергії йдуть на розробку волокон (фібрилювання, гідратацію та ін.). Отже, підвищення концентрації волокон при пульсаційній обробці суспензій позитивно впливає на їх паперотворні

властивості. Крім того, робота при більших концентраціях зменшує витрати на обробку.

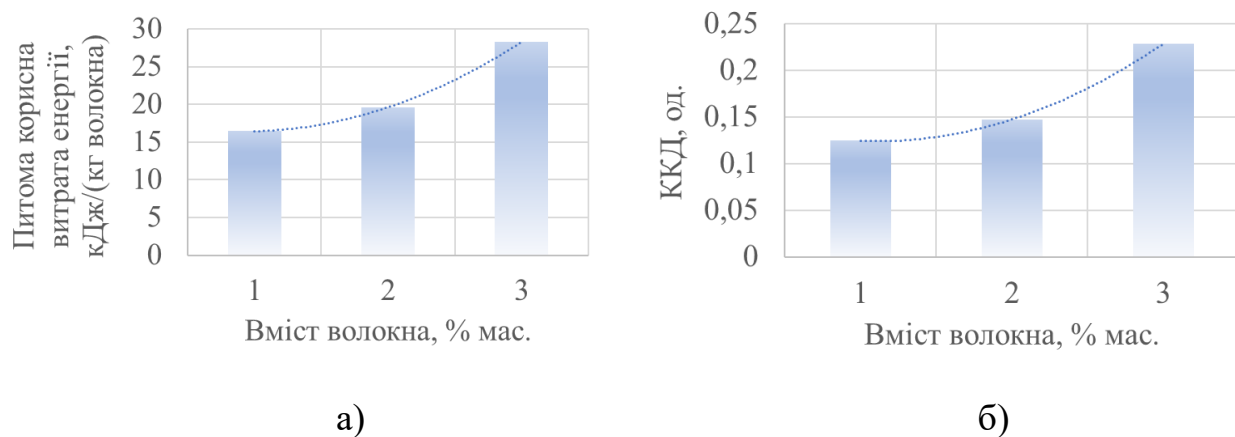


Рисунок 3.4.3 – Енергетичні залежності при обробці суспензії в РПА

3.5 Апробація результатів математичного опису процесу обробки волокнистих суспензій в РПА

Параметри дослідження процесу обробки волокнистих суспензій в РПА представлені в таблиці 3.5.1

Таблиця 3.5.1 – Параметри дослідження процесу

Параметр	Одиниці вимірювання	Концентрація маси, %		
		1	2	3
Об'ємні витрати	м ³ /с	1,407	0,7081	0,5588
Об'єм завантаженої маси	м ³	17	16,8	17
Період обробки одного циклу	с	12,082	23,725	30,422

Зміна ступеня помелу маси з часом описана рівнянням:

$$\frac{\text{ШР}_\theta}{\text{ШР}_0} = \exp(-a\theta^b) \quad (3.5.1)$$

де:

a, b – кінетичні коефіцієнти;

θ – знерозмірений час обробки маси, що визначається як відношення часу обробки маси до періоду одного циклу:

$$\theta = \frac{t_{\text{обр}}}{t_{\text{ц}}}, (c) \quad (3.5.2)$$

Період одного циклу обробки маси визначено формулою:

$$t_{\text{ц}} = \frac{Q_v}{V_3}, (c) \quad (3.5.3)$$

Прологарифмувавши рівняння (3.5.1) отримаємо:

$$\ln \ln \frac{\text{ШР}_\theta}{\text{ШР}_0} = b * \ln \theta + A \quad (3.5.4)$$

де $A = \ln(-a)$;

Побудувавши графіки залежностей за формулою (3.5.4), отримаємо рівняння з яких визначимо коефіцієнти a, b . Кінетичні коефіцієнти a, b отримані з рівнянь залежностей представлені в таблиці 3.5.2

Таблиця 3.5.2 – Кінетичні коефіцієнти a, b

Концентрація маси, %	Значення коефіцієнтів	
	a	b
1%	-0,129	0,4375
2%	-0,151	0,4525
3%	-0,171	0,4089

Визначимо розрахункові значення середньої довжини волокна. Експериментально отримані значення середньої довжини волокна маси різної концентрації представлені на рисунку 3.4.1.

Для аналітичного вираження описаних залежностей виведено емпіричну формулу у вигляді

$$\Delta_l = k \ln \Theta, \quad (3.5.5)$$

де $\Delta_l = l_0 - l_\Theta$ – різниця середніх довжин волокон до початку пульсаційної обробки і у час Θ ; k – кінетичний коефіцієнт.

З експериментальних даних визначено кінетичний коефіцієнт k , що наведені у таблиці

Таблиця 3.5.3 – Кінетичний коефіцієнт k

Кінетичний коефіцієнт	Концентрація маси		
	1%	2%	3%
k	0,236	0,254	0,185

Маючи значення кінетичного коефіцієнта, підставимо його у рівняння 3.5.5 та розрахуємо розрахункову середню довжину волокна.

В таблиці 3.5.4 Наведені значення відносної похибки вимірювання для ступеня помелу маси та середньої довжини волокна.

Таблиця 3.5.4 –Відносна похибка вимірювань

Концентрація маси	Середня довжина волокна		Ступінь помелу маси	
	Максимальне значення	Середнє значення	Максимальне значення	Середнє значення
1%	3,78	1,69	4,79	2,15
2%	4,45	2,26	2,67	1,16
3%	3,6	1,75	2,29	1,59

По результатам розрахунку відносних похибок вимірювання ступеня помелу маси для різних концентрацій можна зробити висновок, що максимальне та середнє значення є допустиме, та не перевищує 5%.

Визначимо коефіцієнти кореляції експериментально отриманих значень. Результати обчислення наведені в таблиці 3.5.5.

Таблиця 3.5.5 – Коефіцієнти кореляції

Концентрація маси	Середня довжина волокна		Ступінь помелу маси	
	Розрахунковий	Теоретичний	Розрахунковий	Теоретичний
1%	-0,896	-0,896	0,985	0,985
2%	-0,933	-0,933	0,988	0,988
3%	-0,89	-0,89	0,975	0,975

По результатах розрахунків видно що коефіцієнти кореляції для різних кореляції, для середньої довжини волокна близькі по значенню до -1. Це пояснюється тим, що при збільшенні часу обробки маси в РПА середня довжина волокна зменшується, а для ступеня помелу маси значення близьке до 1. Значення коефіцієнта кореляції співпадають з теоретичним значення, а отже розраховані правильно.

Далі визначимо критерій Фішера за формулою 3.3.1. Результати розрахунку наведені у таблиці 3.5.6.

Таблиця 3.5.6 – Критерій Фішера експериментально отриманих значень ступеня помелу маси

Концентрація маси	Середня довжина волокна		Ступінь помелу маси	
	Розрахунковий	Табличний	Розрахунковий	Табличний
1%	1,33	5	1,62	5
2%	1,19		1,34	
3%	1,02		1,76	

Для перевірки значимості рівняння регресії обчислене значення критерію Фішера порівнюємо з табличним на обраному рівні значущості (0.05). Оскільки табличне значення Фішера менше, ніж розраховане, то модель вважається адекватною.

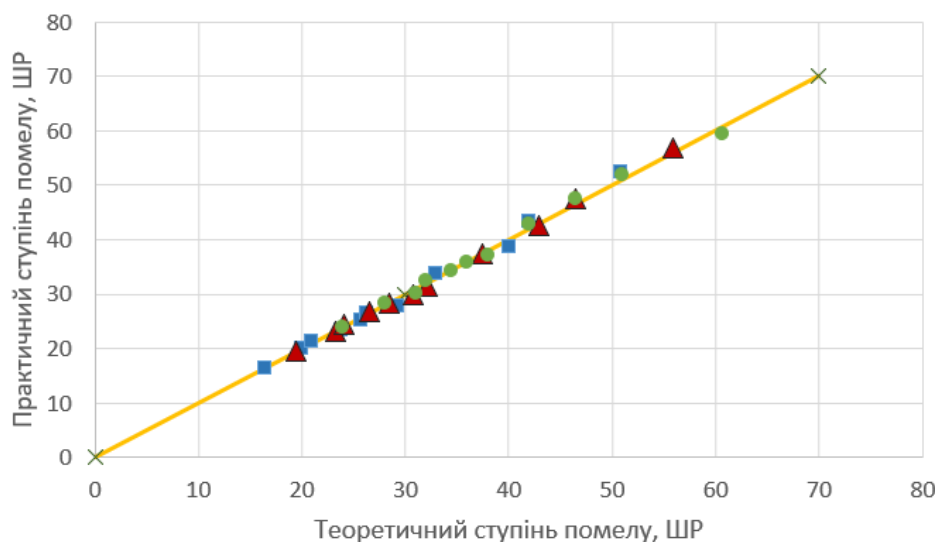


Рисунок 3.5.1 – Апробація результатів дослідження ступеня помелу маси

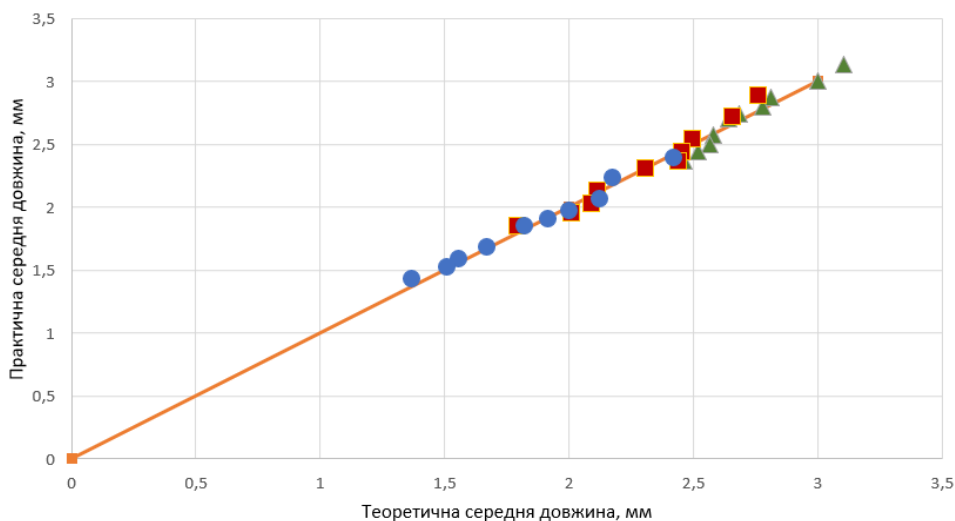


Рисунок 3.5.2 – Апробація результатів дослідження середньої довжини волокна

3.6 Висновки до розділу

Створено та описано лабораторну установку для дослідження процесу обробки волокнистих суспензій на базі одноступінчастого роторно-пульсаційного апарата проточного типу. Складено методику та послідовність проведення експериментальних досліджень. Проведено експериментальні дослідження диспергування паперової маси у роторно-пульсаційному апараті. За результатами узагальнення дослідних даних одержано криві залежності ступеня помелу волокон та середньозваженої довжини волокна від часу обробки в РПА. Визначено вплив на зазначені характеристики дисперсного складу емульсії. Проведено розрахунки, та побудовано графіки відповідності відношення практичних значень до теоретичних з достовірністю, яка склала 97 %.

4 ПРАКТИЧНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

4.1 Опис технологічної схеми підготовки макулатурної маси

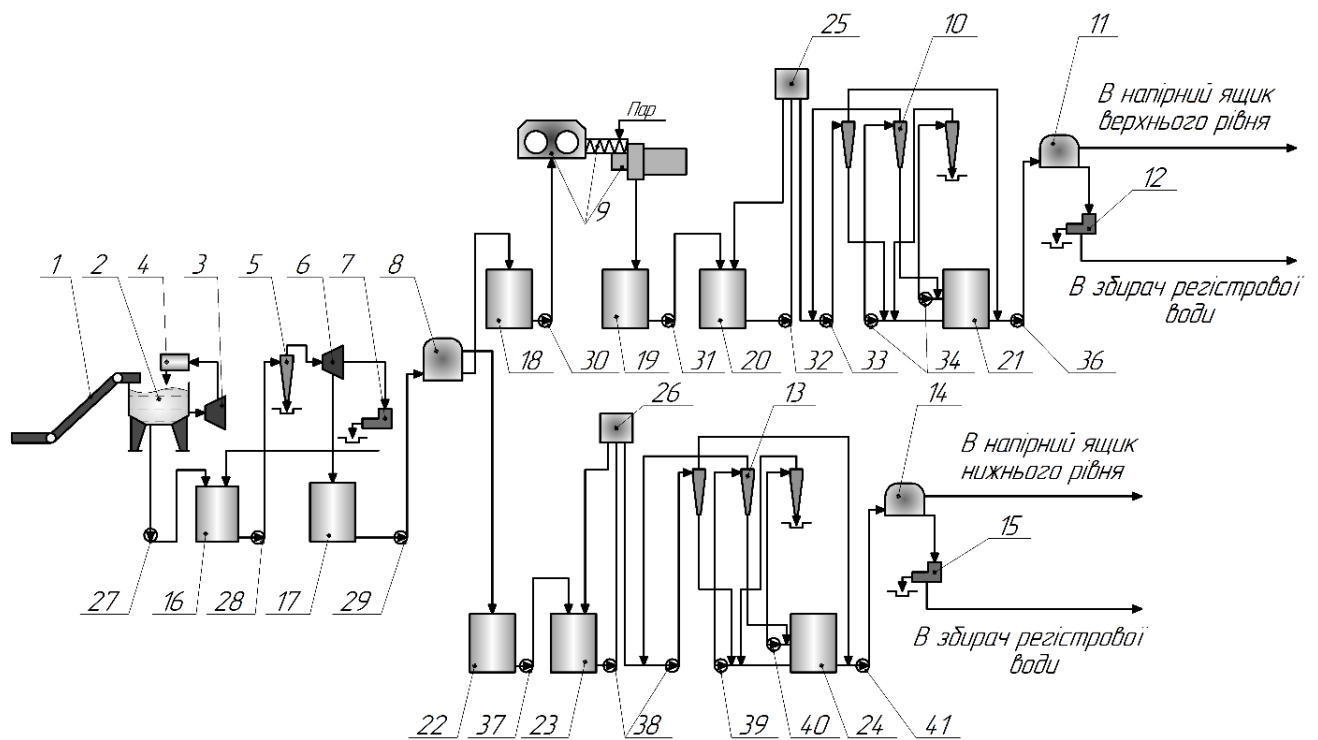
На рисунку 4.1.1 зображена схема промислової лінії для виробництва макулатурної маси для гофрокартону [29] з використанням РПА. Для верхнього шару картону використовується довговолокниста фракція, а для нижнього – коротковолокниста. Макулатури за допомогою конвеєра 1 потрапляє у гідророзбивач 2. Маса, що погано розпущена обробляється у РПА 3. Розпущена у гідророзбивачі маса потрапляє до басейну 16, з якого направляється на очистку до вихрового очисника 5 та на додаткове розпущення у РПА 6.

Маса, що вже відсортована знаходиться у басейні 17. Сортувальні відходи направляються на вібраційну сортувалку 7, з якої промиті волокна повернуться в басейн 16. Після сортування маса з басейну 17 подається у фракціонатор 8.

Довговолокниста фракція знаходиться в басейні 18, а потім подається на термодисперсійну обробку 9, де проводиться диспергування неволокнистих домішок.

Диспергована маса з басейну 20 потрапляє на установку, що складається з вихрових очисників 10. Маса, що вже очищена, потрапляє на тонку сортувалку 11, а далі до напірного ящика. Сортувальні відходи та сторонні включення з сортувалки 11 подаються на вібраційну сортувалку 12, відміте волокно з якої відправляється до збирачу реєстрової води.

Коротко-волокниста фракція з машинного басейну 23 надходить до установки вихрових очисників 13 для видалення дрібних включень. Маса, що вже очищена, потрапляє на тонку сортувалку паперової маси 14, а далі до напірного ящика нижнього рівня картоноробної машини.



1 – лінія завантаження; 2 – гідророзбивач; 3, 6 – РПА; 4 – сортувальний барабан; 5 – вихровий очисник; 7, 12, 15 – вібраційна сортувалка; 8 – фракціонатор; 9 – установка термодисперсійна; 10, 13 – установка вихрових очисників; 11, 14 – сортувалки паперової маси; 16, 17, 18, 19, 22 – масні басейни; 20, 23 – машинні басейни; 21, 24 – басейни реєстрової води; 25, 26 – баки постійного напору; 27-35, 36-41 – насоси.

Рисунок 4.1.1 – Технологічна лінія виробництва макулатурної маси

Відходи сортування та легкі сторонні домішки з сортувалки 14 потрапляють на вібраційну сортувалку 15, відміте волокно з якої надходить у збирач реєстрової води, а сторонні включення виводяться з потоку. Така схема може бути модифікована.

Застосування роторно-пульсаційних апаратів при підготовці макулатурної маси дозволяє підвищити ефективність процесу розпуску волокон, обробки маси та знизити енерговитрати.

4.2 Розробка конструкції РПА

На рисунку 4.2.1 зображено креслення промислового прототипу РПА. Який призначений для диспергування волокнистих суспензій.

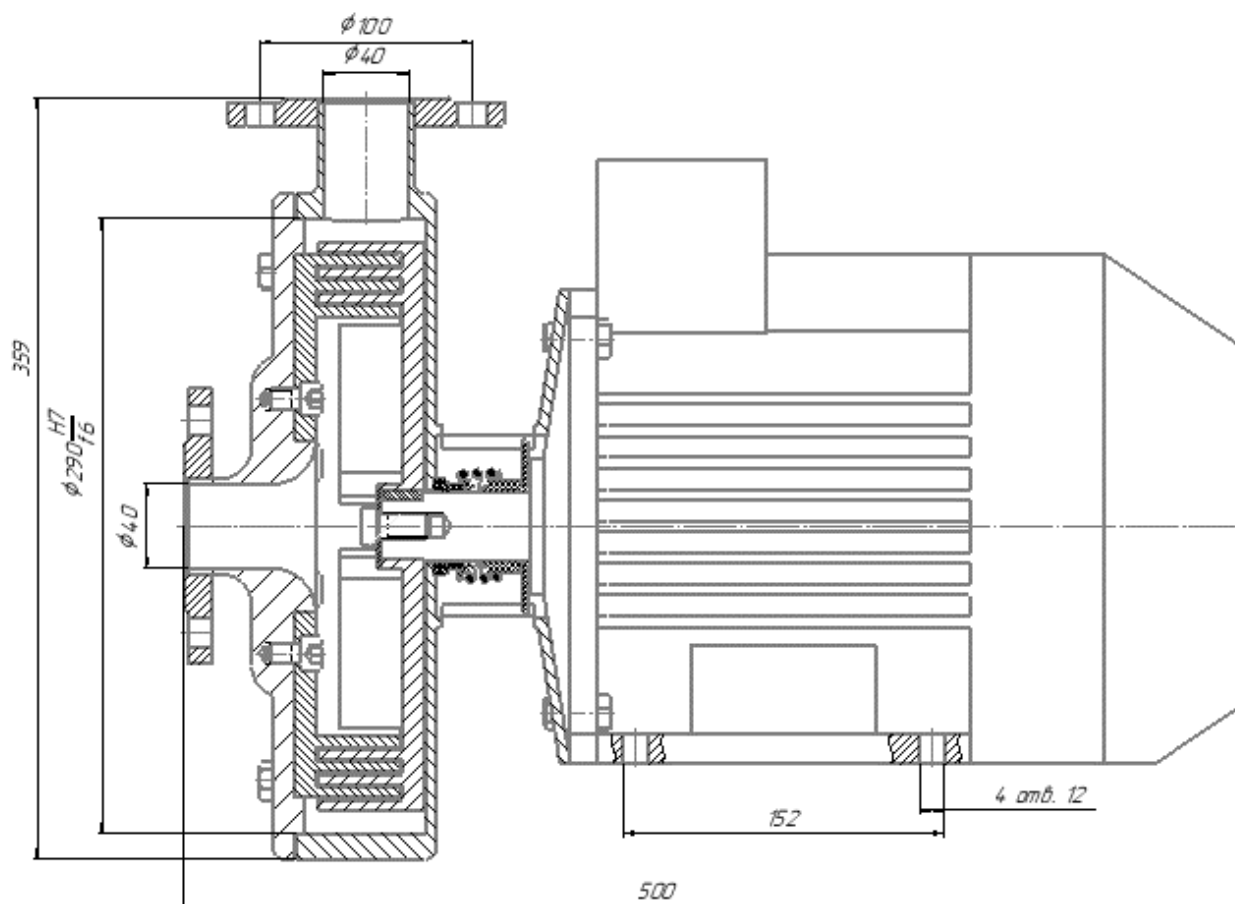


Рисунок 4.2.1 – Конструкція промислового РПА для диспергування волокнистих суспензій

Основними вузлами апарата є корпусний вузол, вузол ущільнення та вузол обробки.

Конструкція відрізняється експлуатаційною надійністю і простотою обслуговування. Технічні характеристики розробленої конструкції представлені в таблиці 4.2.1.

Таблиця 4.2.1 – Технічні характеристики розробленої конструкції

Параметри	Позначення	Одиниці вимірювання	Значення
Потужність	N	кВт	15
Максимальний діаметр ротора	Dmax	м	0,268
Продуктивність	Q	м ³ /с	0,0037
Об'єм пульсаційної камери	Vk	м ³	2,738*10 ⁻³
Тиск середовища в камері	P	Па	1*10 ⁶

4.3 Технічне рішення нової конструкції

Основними задачами модернізації конструкції є збільшення ефективності установки за рахунок зменшення кратності циркуляції волокнистої маси по контуру під час хіміко-технологічних процесів.

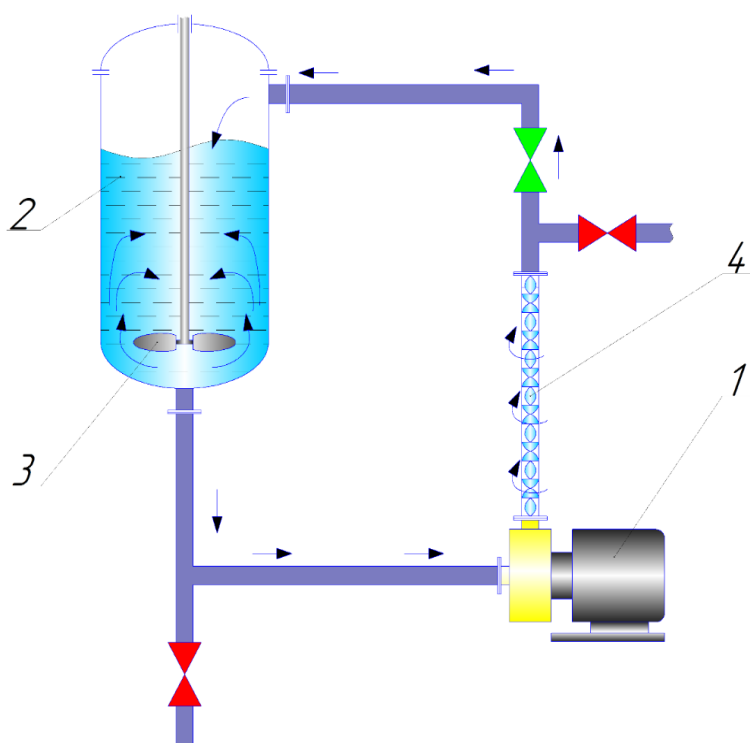
Підвищення ефективності, можна досягти шляхом встановлення в контур установки з РПА, хоча б одного статичного змішувача.

Принцип дії представленого рішення описаний одним з типів таких установок, що призначена для проведення хіміко-технологічних процесів, та зображена на рисунку 4.3.1. Установка складається з РПА 1, ємкісного апарату 2, перемішуючого пристрою 3 та статичного змішувача 4.

Установка працює наступним чином. Маса завантажуються у ємкісний апарат 2 з перемішуючим пристроєм 3, і проходить обробку утворюючи рідке середовище, яке далі потрапляє до з'єднаного з ємкісним апаратом трубопроводу, по якому транспортується до РПА 1, де проходить обробка рідкого середовища, після чого воно по відвідному трубопроводу знову потрапляє до ємкісного апарата 2, протікаючи через статичний змішувач 4, який надає додаткове інтенсивне змішування компонентів рідкого середовища, тим

самим підвищуючи ефективність проведення хіміко-технологічних процесів [30]. Після цього обробка повторюється циклічно з кратністю циркуляції по контуру, достатньою для досягнення заданого результату.

Установка має можливість нагрівання або охолодження оброблюваної рідини в ємкісному апараті та трубопроводах, а також можливість встановлення додаткового насосу для підвищення прокачування рідкого середовища по циркуляційному контуру.



1 – роторно-пульсаційний апарат; 2 – ємкісний апарат; 3 – перемішуючий пристрій; 4 – статичний змішувач;

Рисунок 4.3.1 - Установка для проведення хіміко-технологічних процесів у рідинах

Запропонована установка підвищує ефективність проведення хіміко-технологічних процесів у рідинах, шляхом використання простих, з точки зору виготовлення та встановлення, конструкційних елементів без зміни габаритних розмірів установки та необхідності у додатковому обслуговуванні.

4.4 Алгоритм розрахунку роторно-пульсаційного апарату

Сформульовано алгоритм розрахунку РПА, реалізація якого дозволяє розрахувати:

- конструктивні особливості РПА (об'єм робочої камери та розмір робочих органів);
- перевірити апарат на міцність (розрахунок на міцність валу ротора та робочих органів);
- визначити витрати потужності;
- кінцевий ступінь помелу волокон.

Схема алгоритму розрахунку наведено у додатку Г.

4.5 Висновки до розділу

Розроблений варіант конструкції багатоступінчастого РПА, який призначений для диспергування волокнистих суспензій.

Розроблено технологічне рішення щодо модернізації лінії підготовки макулатурної маси шляхом включення до її складу РПА, призначеного розпуску волокон.

Запропоновано вдосконалену установку, що підвищує ефективність проведення хіміко-технологічних процесів у рідинах, шляхом використання простих, з точки зору виготовлення та встановлення, конструкційних елементів без зміни габаритних розмірів установки та необхідності у додатковому обслуговуванні.

Складено алгоритм розрахунку РПА, з урахуванням особливостей процесу обробки волокнистих суспензій

Висновки

Робота спрямована на визначення кінетичних закономірностей при обробці волокнистих суспензій у роторно-пульсаційному апараті.

1. Проведено аналіз інформаційних джерел і патентне дослідження, на основі результатів яких сформульована мета та обґрунтовані задачі дослідження процесу обробки волокнистих суспензій у роторно-пульсаційному апараті;

2. Розроблено фізичну модель процесу обробки волокнистих суспензій у роторно-пульсаційному апараті;

3. Сформульовано положення математичного опису процесу диспергування волокнистих суспензій в РПА, на основі яких одержано аналітичні вирази для визначення ступеня помелу волокон та середньої довжини волокна в залежності від часу обробки у одноступінчастому РПА;

4. Створено експериментальну установку, що забезпечує циклічну пульсаційну обробку волокнистої суспензії, у якій циркуляція рідини відбувається під дією робочих органів РПА;

5. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень, що передбачає утворення волокнистої маси з високим ступенем помолу, в залежності від технологічних параметрів обробки;

6. Проведено розрахунки, та побудовано графіки відповідності відношення практичних значень до теоретичних з достовірністю, яка склала 98 %;

7. Розроблено рекомендації з охорони праці при роботі з установкою, які встановлюють фактори небезпеки та методи їх усунення;

8. Розроблено стартап проект, в якому проведеного аналіз перспективи впровадження з огляду на потенційні групи клієнтів, бар'єри входження, стан конкуренції, конкурентоспроможність проекту;

9. Розроблено технологічне рішення щодо модернізації установки для проведення хіміко-технологічних процесів у рідинах;

10. Вдосконалено технологічну схему підготовки макулатурної маси шляхом впровадженням розробленої установки в лінію;

11. Складено алгоритм розрахунку РПА, з урахуванням особливостей процесу диспергування волокнистих суспензій;

12. Магістерська дисертація виконана згідно наукового плану кафедри машин та апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв.

За темою дисертації опубліковано 2 статті у фахових видань, 4 тез доповідей на міжнародних конференціях, отримано патент України на корисну модель.

Выводы

Работа направлена на определение кинетических закономерностей при обработке волокнистых суспензий в роторно-пульсационном аппарате.

1. Проведен анализ информационных источников и патентное исследование, на основе результатов которых сформулирована цель и обоснованные задачи исследования процесса обработки волокнистых суспензий в роторно-пульсационном аппарате;

2. Разработана физическая модель процесса обработки волокнистых суспензий в роторно-пульсационном аппарате;

3. Сформулировано положение математического описания процесса диспергирования волокнистых суспензий в РПА, на основе которых получены аналитические выражения для определения степени помола волокон в зависимости от затраченной энергии, объемного расхода жидкости и свойств дисперсной среды;

4. Создана экспериментальная установка, обеспечивающая циклическую пульсационную обработку волокнистой суспензии, в которой циркуляция жидкости происходит под действием рабочих органов РПА;

5. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, предусматривает создание волокнистой массы с высокой степенью помола, в зависимости от технологических параметров обработки;

6. Проведены расчеты, и построены графики соответствия отношения практических значений к теоретическим с достоверностью, которая составила 98%;

7. Разработаны рекомендации по охране труда при работе с установкой, которые устанавливают факторы опасности и методы их устранения;

8. Разработан стартап проект, в котором проведен анализ перспективы внедрения учитывая потенциальные группы клиентов, барьеры вхождения, состояние конкуренции, конкурентоспособность проекта;

9. Разработаны технологическое решение по модернизации установки для проведения химико-технологических процессов в жидкостях;

10. Усовершенствована технологическую схему подготовки макулатурной массы путем внедрением разработанной установки в линию;

11. Составлен алгоритм расчета РПА, с учетом особенностей процесса диспергирования волокнистых суспензий;

12. Магистерская диссертация выполнена согласно научного плана кафедры машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств.

По теме диссертации опубликовано 2 статьи в профессиональных изданий, 4 тезисов докладов на международных конференциях, получен патент Украины на полезную модель.

Conclusions

The work is aimed at determining the kinetic regularities in the processing of fibrous suspensions in a rotary-pulsating apparatus.

1. The analysis of information sources and patent research, based on the results of which formulated the goal and justified the research problems of the processing of fibrous suspensions in the rotary-pulsating apparatus;

2. A physical model of the processing of fibrous suspensions in a rotary-pulsating apparatus was developed;

3. The provisions of the mathematical description of the process of dispersing fibrous suspensions in RPA are formulated, on the basis of which analytical expressions are obtained for determining the degree of grinding of fibers depending on the energy expended, the volume flow of liquid and the properties of the disperse medium;

4. An experimental installation was established that provides cyclic pulsation treatment of a fibrous suspension in which the circulation of the liquid occurs under the influence of the working organs of the RPA;

5. The method of carrying out of experimental researches, which involves the formation of a fibrous mass with a high degree of grinding, is developed, depending on technological parameters of processing;

6. Calculations were made, and graphs of correspondence of the ratio of practical values to theoretical ones with reliability of 98% were constructed;

7. Recommendations on work safety during work with installation are developed, which determine the factors of danger and methods of their elimination;

8. A startup project was developed, in which the analysis of the implementation perspective was conducted considering the potential client groups, entry barriers, competition state, project competitiveness;

9. A technological solution for the modernization of the plant for chemical and technological processes in liquids has been developed;

10. The technological scheme of preparation of the waste paper mass has been improved by introduction of the developed installation into the line;

11. An algorithm for calculation of RPA is made, taking into account the features of the process of dispersing fibrous suspensions;

12. The master's thesis is executed in accordance with the scientific plan of the department of machines and apparatuses of chemical and oil refining industries.

On the topic of the dissertation 2 articles were published in professional editions, 4 theses of reports at international conferences, the patent of Ukraine was received on the utility model.